



PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599

DESAIN STRUKTUR RUMAH SAKIT UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

BELLA GALUH PRATIWI
NRP 3113 041 052

Dosen Pembimbing
Nur Achmad Husin, ST., MT.
NIP 19720115 199802 1 001

PROGRAM DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



PROYEK AKHIR TERAPAN- RC146599

DESAIN STRUKTUR RUMAH SAKIT UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

BELLA GALUH PRATIWI

NRP 3113 041 052

Dosen Pembimbing

Nur Achmad Husin, ST., MT.

NIP 19720115 199802 1 001

PROGRAM DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2017



APPLIED FINAL PROJECT - RC146599

STRUCTURAL DESIGN OF UNIVERSITAS AIRLANGGA HOSPITAL SURABAYA USING PRECAST CONCRETE METHOD

BELLA GALUH PRATIWI
NRP. 3113 041 052

COUNSELLOR LECTURE
NUR ACHMAD HUSIN, ST.MT.
NIP. 19720115 199802 1 001

DIPLOMA IV CIVIL ENGINEERING
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCASIONAL FACULTY
INSTITUTE TEKNOLOGI OF SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN STRUKTUR RUMAH SAKIT UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains Terapan

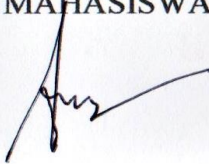
pada

Program Diploma IV Teknik Sipil
Departemen Infrastruktur Teknik Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Surabaya, 26 Juli 2017

Disusun oleh :

MAHASISWA



BELLA GALUH PRATIWI

NRP. 3113 041 052

Disetujui oleh :

26 JUL 2017

DOSEN PEMBIMBING



NUR ACHMAD HUSIN, ST., MT.

NIP. 19720115 199802 1 001



BERITA ACARA TUGAS AKHIR TERAPAN

PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 7/11/2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Desain Struktur Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya Menggunakan Metode Beton Pracetak		
Nama Mahasiswa	Bella Galuh Pratiwi	NRP	3113041052
Dosen Pembimbing 1	Nur Achmad Husin, ST., MT. NIP 19720115 199802 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
1. balok border. 2. perhit cross tngga	
	Ir. Boedi Wibowo, CES. NIP 19530424 198203 1 002
* Tujuan dan kesimpulan (metode pelaksanaan) * gambar pelat dengan balok * lengkapi gambar Hub Balok Kolom.	
	Afif Navir Refani, ST., MT. NIP 19840919 201504 1 001
* lengkapi metode Pelaksanaan pembuatan praecast. (di pertemuan)	
	Ir. Sukobar, MT. NIP 19571201 198601 1 002
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Ir. Boedi Wibowo, CES. NIP 19530424 198203 1 002	Afif Navir Refani, ST., MT. NIP 19840919 201504 1 001	Ir. Sukobar, MT. NIP 19571201 198601 1 002	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	Nur Achmad Husin, ST., MT. NIP 19720115 199802 1 001	NIP -



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Bella Baluh Pratiwi 2
NRP : 1 3113 091 052 2
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Desain Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya dengan Metode Beton Pracetak
Dosen Pembimbing : Nur Achmad Husein, ST., MT.

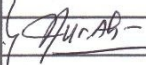

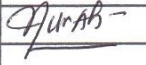

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
5.	21-4-2017	- Dilatasi : cek rimpangan terjadi di posisi dilatasi lebih kecil dari jarak dilatasi rencana.	NurAH-			
		- Sambungan Pracetak : • cek elevasi setiap sambungan elemen • Tulangan yg bertamu di sambungan?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
6.	27-4-2017	- Cek kondisi momen & penulangan kondisi crack & uncrack.	NurAH-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Perencanaan Sambungan : metode pelaksanaan mudah, tahan gempa sesuai SRPMK, dan murah.				
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
7.	18-5-2017	- Desain Sambungan SRPMK sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.8. (Cek2Vecu)	NurAH-			
		- Sambungan tulangan tidak boleh di daerah sendi plastis.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
8.	29-5-2017	- Cek sambungan geser (Balok-kolom, Balok Induk - Anak, Relat - Balok)	NurAH-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Metode pelaksanaan sambungan				
				B	C	K

Ket. :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Bella Galuh Pratiwi 2
NRP : 1 3113 041 052 2
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Desain Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya dengan Metode Beton pracetak
Dosen Pembimbing : Nur Achmad Husin, ST., MT.

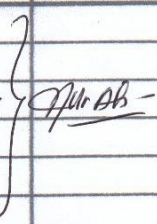
No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	2-3-2017	- Penulangan pelat : penulangan awal, sebelum komposit, sesudah komposit. - penomoran tipe pelat pracetak.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
2.	16-3-2017	- Penggambaran pelat & balok anak - Pengangkatan balok anak		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
3.	30-3-2017	- Tabelkan tipe balok pada gambar (Dimensi, Jumlah, Berat) - Kebutuhan tulangan dihitung setiap kondisi. - Penggambaran tampak atas, letak, angleur.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
4.	13-4-2017	- Penamaan Balok menjelaskan posisi As - Penulangan tangga - Balok penumpu & penggantung lift disusutkan ukuran lift dari bracer. - Metode pelaksanaan pengangkatan balok U		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Bella Galuh Pratiwi 2
NRP : 1 3113 041 052 2
Judul Tugas Akhir : Desain Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya
Menggunakan Metode Beton Pracetak
Dosen Pembimbing : Nur Achmad Husin, ST, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
9.	2 - Juni - 2017	- Perbaiki Gambar Sambungan (kontrol, panjang pengaluran).				
		- Beri nama balok dan pelat per As pada denah		B	C	K
		- Metode Pelakrnan sambungan, pengecoran overtopping		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal

“DESAIN STRUKTUR RUMAH SAKIT UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK”

Dosen Pembimbing : Nur Achmad Husin, ST, MT
NIP : 19720115 199802 1 001
Mahasiswa : Bella Galuh Pratiwi
3113 041 052
Departemen : Diploma 4 Teknik Infrastruktur Sipil

ABSTRAK

Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya berada di kawasan kampus C universitas Airlangga Surabaya. Bangunan tersebut merupakan bangunan 8 lantai. Bangunan eksisting dibangun dengan sistem rangka pemikul momen khusus dan dilakukan pengecoran di tempat. Bangunan akan direncanakan menggunakan balok, pelat, dan tangga pracetak, sedangkan kolom dicor di tempat. Dalam perencanaan pracetak perlu dilakukan kontrol terhadap beton pracetak tersebut saat proses pengangkatan, penumpukan, pemasangan, dan pengecoran in situ. Hasil perhitungan berupa penulangan struktur dan desain sambungan. Hasil desain struktur gedung Rumah Sakit Universitas Airlangga meliputi tebal pelat 12 cm, dimensi balok induk 40 x 60 cm, dimensi balok anak 25x40 cm, dan dimensi kolom 65 x 65 cm. Sambungan antar elemen menggunakan sambungan basah dan sambungan kering. Sambungan basah berupa pengecoran overtopping setebal 4 cm untuk pelat dan 12 cm untuk balok. Sambungan kering berupa penggunaan tulangan yang diangkerkan pada ujung balok dan penggunaan pelat baja yang ditanam dan disambung untuk sambungan antar pelat.

Kata kunci: beton pracetak, sistem rangka pemikul momen khusus

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“STRUCTURAL DESIGN OF UNIVERSITAS AIRLANGGA HOSPITAL SURABAYA USING PRECAST CONCRETE”

Counsellor Lecturer : Nur Achmad Husin, ST, MT
NIP : 19720115 199802 1 001
Student : Bella Galuh Pratiwi
3113 041 052
Departement : Diploma 4
Civil Infrastructure Engineering

ABSTRACT

Universitas Airlangga Hospital Surabaya is located in Kampus C Airlangga University Surabaya. The existing building consists of 8 floors. It is designed with special moment resisting frame system using cast in situ system. The building will be planned using precast beams, slabs, and stairs, while column casted in situ. Precast concrete should be controlled over the process of raptuere, erection, and cast in situ. The calculation result is concrete repetition of structure and design of connection. The results of structural desain of Universitas Airlangga Hospital Surabaya are thickness of slab is 12 cm, the dimension of the primary beam (B1) 40 cm x 60 cm, the dimension of the secondary beam (BA) 25 cm x 40 cm, and dimension of column 65 x 65 cm. The connection between elements using wet and dry connection. Wet connection is using overtopping casting as thick as 4 cm fpr slabs and 12 cm for beams. The dry connection is using reinforcement are anchored at the end of the beam and using steel plates that are planted and dialed for slabs connection.

Keywords: *precast concrete, special moment resisting frame system*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan proyek akhir terapan dengan judul **“Desain Struktur Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya Menggunakan Metode Beton Pracetak”** sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan pada program Diploma IV- Teknik Sipil, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan proyek akhir terapan ini, penulis mendapatkan banyak doa, bantuan, dan dukungan moral serta materiil. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara saya tercinta yang selalu memberikan dukungan moril maupun materiil.
2. Bapak Nur Achmad Husin, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan motivasi dalam penyusunan proyek akhir ini.
3. Teman-teman terdekat, terimakasih atas bantuan dan saran selama proses pengerjaan proyek akhir ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir ini tak lepas dari berbagai kesalahan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Akhir kata, besar harapan penulis semoga laporan proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017
Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Sistem Struktur Gedung	5
2.2. Dilatasi	5
2.3. Beton Pracetak	7
2.4. Elemen Beton Pracetak	7
2.4.1. Pelat.....	7
2.4.2. Balok	9
2.4.3. Tangga.....	10
2.5. Tahapan Pekerjaan Beton Pracetak.....	11
2.5.1. Produksi	11
2.5.2. Transportasi.....	11
2.5.3. Pemasangan (<i>Erection</i>)	12

2.5.4. Sambungan (<i>Connection</i>).....	14
BAB III METODOLOGI.....	17
3.1. Pengumpulan Data	19
3.2. Pemilihan Kriteria Desain.....	20
3.3. Preliminary Desain.....	21
3.3.1. Dimensi Pelat	21
3.3.2. Dimensi Balok	21
3.3.3. Dimensi Kolom	21
3.3.4. Dimensi Tangga	21
3.3.5. Lift.....	22
3.4. Pembebanan Struktur	22
3.4.1. Beban	22
3.4.2. Kombinasi Pembebanan.....	25
3.5. Permodelan Struktur	26
3.6. Penulangan.....	28
3.6.1. Penulangan Pelat	28
3.6.2. Penulangan Tangga	29
3.6.3. Penulangan Balok	30
3.6.4. Penulangan Kolom.....	32
3.7. Perencanaan Dimensi Elemen Pracetak	34
3.8. Kontrol Elemen Pracetak	35
3.8.1. Kontrol Pengangkatan.....	37
3.8.2. Kontrol Penumpukan	37
3.8.3. Kontrol Pemasangan	39
3.8.4. Kontrol Pengecoran.....	39
3.8.5. Kontrol Komposit	41

3.9.	Sambungan.....	41
3.9.1.	Sambungan Balok dengan Kolom.....	42
3.9.2.	Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak	42
3.9.3.	Sambungan Pelat dengan Balok.....	43
3.9.4.	Sambungan Pelat dengan Pelat	43
BAB IV PEMBAHASAN.....		35
4.1.	Preliminary Desain.....	35
4.1.1.	Data Perencanaan	35
4.1.2.	Pembebanan	35
4.1.3.	Perencanaan Dimensi Balok	36
4.1.4.	Perencanaan Tebal Pelat	38
4.1.5.	Perencanaan Dimensi Kolom.....	39
4.2.	Struktur Sekunder	41
4.2.1.	Perencanaan Pelat	41
4.2.2.	Perencanaan Balok Anak	59
4.2.3.	Perencanaan Balok Lift.....	75
4.2.4.	Perencanaan Tangga	79
4.3.	Permodelan Struktur	96
4.3.1.	Umum	96
4.3.2.	Data Perencanaan.....	96
4.3.3.	Pembebanan Struktur	97
4.3.4.	Kombinasi Pembebanan.....	97
4.3.5.	Analisa Beban Gempa.....	98
4.3.6.	Pembebanan Gempa Dinamis	102
4.3.7.	Kontrol Desain	103

4.4.	Perencanaan Struktur Utama.....	116
4.4.5.	Perencanaan Balok Induk.....	116
4.4.6.	Perencanaan Kolom	140
4.4.7.	Hubungan Balok – Kolom SRPMK.....	148
4.5.	Perencanaan Sambungan.....	149
4.6.	Output Pondasi.....	173
4.7.	Metode Pelaksanaan.....	177
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		187
5.1.	Kesimpulan	187
5.2.	Saran	193
DAFTAR PUSTAKA		195

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Denah Bangunan Gedung Baik dan Kurang Baik	6
Gambar 2. 2. Tipe Pelat Pracetak.....	9
Gambar 2. 3. Tipe Balok Pracetak	10
Gambar 2. 4. Desain Tangga Pracetak	10
Gambar 2. 5. Typical Two Point Support	12
Gambar 2. 6. Rocker System	12
Gambar 2. 7. Wall Panel Laid Flat.....	12
Gambar 2. 8. Pengangkatan dengan Katrol Tower Crane.....	13
Gambar 2. 9. Pengangkatan dengan Profil Baja (Spreader Beam) dan Katrol Tower Crane	14
Gambar 2. 10. (a) Penempatan Coupler; (b) Sambungan Kering; (c) Sambungan basah	15
 Gambar 3. 1. Spektrum Respons Desain.....	24
Gambar 3. 2. Permodelan Struktur Rumah Sakit Universitas Airlangga	27
Gambar 3. 3. Pengangkatan Elemen Pracetak dengan 4 Titik	37
Gambar 3. 4. Sambungan Balok dengan Kolom.....	42
Gambar 3. 5. Perencanaan Konsol Pendek	42
Gambar 3. 6. <i>Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak..</i>	43
Gambar 3. 7. Sambungan Pelat dengan Balok.....	43
 Gambar 4. 1. Dimensi Pelat Sebelum Komposit.....	41
Gambar 4. 2. Dimensi Pelat Sesudah Komposit	41
Gambar 4. 3. Titik Angkat Pelat Pracetak P3	51
Gambar 4. 4. Balok Anak Sebelum Komposit dan Sesudah Komposit.....	59
Gambar 4. 5. Distribusi Beban Balok Anak.....	60
Gambar 4. 6. Detail Pengangkatan Balok Anak Pracetak.....	64
Gambar 4. 7. Garis Normal Balok Anak Pracetak	64
Gambar 4. 8. Penulangan Balok Anak Sebelum Komposit ..	71

Gambar 4. 9. Perencanaan Tulangan Angkat pada Balok Anak	74
Gambar 4. 10. Brosur Lift	75
Gambar 4. 11. Denah Lift	76
<i>Gambar 4. 12. Perencanaan Tangga.....</i>	<i>80</i>
Gambar 4. 13. Distribusi Gaya pada Tangga	81
Gambar 4. 14. Detail Pengangkatan Balok Bordes Pracetak	94
Gambar 4. 15. Gempa Maksimum Ss	98
Gambar 4. 16. Gempa Maksimum S1	99
Gambar 4. 17. Periode Bangunan	106
<i>Gambar 4. 18. Pembebanan Balok Induk Pracetak Akibat Beban Sendiri.....</i>	<i>120</i>
<i>Gambar 4. 19. Pembebanan Balok Induk Pracetak Akibat Overtopping</i>	<i>122</i>
Gambar 4. 20. Detail Pengangkatan Balok Induk Pracetak	123
Gambar 4. 21. Garis Normal Balok Induk Pracetak	123
Gambar 4. 22. Momen Tumpuan Balok Induk	127
Gambar 4. 23. Momen Lapangan Balok Induk.....	127
Gambar 4. 24. Tulangan Lentur Tumpuan Balok Induk	129
Gambar 4. 25. Tulangan Lentur Lapangan Balok Induk	131
Gambar 4. 26. Perencanaan Tulangan Angkat pada Balok Induk	139
Gambar 4. 27. Kolom yang Ditinjau.....	140
Gambar 4. 28. Perencanaan Konsol Pendek	151
Gambar 4. 29. Perencanaan Panjang Penyaluran Balok Induk	155
Gambar 4. 30. Rencana Penulangan dan Bearing Plate pada Balok.....	156
Gambar 4. 31. Perencanaan Konsol Pendek	160
Gambar 4. 32. Rencana Penulangan dan Bearing Plate pada Balok.....	164
Gambar 4. 33. Sambungan Pelat Balok	168
Gambar 4. 34. Perencanaan Sambungan Pelat-Pelat	168
Gambar 4. 35. Denah Penempatan Tower Crane.....	180
Gambar 4. 36. Pekerjaan Kolom.....	181
Gambar 4. 37. Pemasangan Balok Induk.....	182

Gambar 4. 38. Pemasangan Balok Anak.....	183
Gambar 4. 39. Pemasangan Pelat.....	184
 Gambar 5. 1. Penampang Kolom.....	 190
Gambar 5. 2. Sambungan Balok - Kolom.....	191
Gambar 5. 3. Sambungan Balok Anak – Balok Induk.....	191
Gambar 5. 4. Sambungan Pelat - Balok.....	192
Gambar 5. 5. Detail Sambungan Pelat- Pelat.....	192

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Ketentuan Bentang Maksimum Tangga Pracetak 10

Tabel 3. 1. Beban Hidup 23

Tabel 3. 2. Perkiraan Kuat Tekan Beton 35

Tabel 4. 1. Dimensi Balok Induk 37

Tabel 4. 2. Dimensi Balok Anak 38

Tabel 4. 3. Dimensi Pelat 38

Tabel 4. 4. Tipe Pelat Pracetak 42

Tabel 4. 5. Penulangan Pelat Sesudah Komposit 50

Tabel 4. 6. Kesimpulan Kontrol Pelat Pracetak 57

Tabel 4. 7. Tulangan Terpasang Balok Anak 73

Tabel 4. 8. Perhitungan Cross pada Tangga 82

Tabel 4. 9. Momen Pelat Tangga dan Pelat Bordes 85

Tabel 4. 10. Koefisien Situs F_a 99

Tabel 4. 11. Koefisien Situs F_v 100

Tabel 4. 12. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek 101

Tabel 4. 13. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik 101

Tabel 4. 14. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan α 105

Tabel 4. 15. Periode Bangunan 106

Tabel 4. 16. Gaya Akibat Kombinasi Beban 1D+1L 108

Tabel 4. 17. Gaya Geser Dasar 109

Tabel 4. 18. Dilatasi Bangunan 116

Tabel 4. 19. M_{pr} pada Balok Induk 134

Tabel 4. 20. Tulangan Lentur dan Torsi Balok Induk 139

Tabel 4. 20. Tulangan Geser Balok Induk 140

Tabel 4. 22. Kebutuhan Tulangan Lentur Kolom 143

Tabel 4. 23. Spesifikasi Tower Crane 180

Tabel 5. 1. Penulangan Pelat 188

Tabel 5. 2. Kebutuhan Tulangan Lentur Balok Anak	189
Tabel 5. 3.Kebutuhan Tulangan Balok Anak.....	189
Tabel 5. 4. Kebutuhan Tulangan Lentur Balok Induk	189
Tabel 5. 5.Kebutuhan Tulangan Balok Induk	190

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton pracetak (*precast*) merupakan elemen beton yang proses produksinya dilakukan di pabrik atau di lokasi proyek yang kemudian disatukan antar elemen di posisi sebenarnya. Tahapan pekerjaan beton pracetak adalah proses produksi, transportasi (pengiriman), pemasangan (*erection*), penyambungan (*connection*), dan pengecoran *overtopping*. Dibutuhkan ketelitian dalam perencanaan dimensi dan bentuk elemen beton pracetak supaya memenuhi persyaratan dalam tahapan-tahapan pekerjaan tersebut. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi dalam penentuan elemen beton pracetak antara lain, kapasitas berat dan panjang elemen pracetak yang dibawa truk saat pengiriman, kapasitas maksimum *tower crane* dalam pengangkatan elemen pracetak, dan tipe sambungan untuk menyatukan elemen-elemen pracetak menjadi struktur yang monolit.

Objek desain pada Tugas Akhir Terapan ini adalah Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya. Bangunan tersebut merupakan gedung 8 lantai dengan ketinggian 32 meter dan panjang 136,8 meter. Bentuk bangunan yang menyerupai huruf U mengakibatkan bangunan dibagi menjadi lima bagian. Pembagian bangunan ini dilakukan supaya bangunan menjadi simetris dan kuat dalam menahan beban gempa.

Pada Tugas Akhir Terapan ini akan dilakukan modifikasi desain pada struktur Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya menggunakan beton pracetak dan menjelaskan metode pelaksanaannya. Beton pracetak dipilih karena bentuk bangunan yang tipikal, volume pekerjaan pengecoran beton yang besar, lahan proyek yang cukup luas sehingga masih bisa digunakan sebagai area *stock yard*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau dalam modifikasi desain bangunan Rumah Sakit Universitas Airlangga adalah :

1. Bagaimana merencanakan dan menganalisis permodelan struktur bangunan.
2. Bagaimana menentukan dimensi elemen pracetak yang memenuhi persyaratan pengiriman, pengangkatan, dan pengecoran.
3. Bagaimana merencanakan sambungan antar elemen pracetak.
4. Bagaimana merencanakan metode pelaksanaan beton pracetak.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang diharapkan dari modifikasi desain bangunan Rumah Sakit Universitas Airlangga adalah :

1. Mampu merencanakan dan menganalisis permodelan struktur bangunan.
2. Mampu menentukan dimensi elemen pracetak yang memenuhi persyaratan pengiriman, pengangkatan, dan pengecoran.
3. Mampu merencanakan sambungan antar elemen pracetak.
4. Mampu merencanakan metode pelaksanaan beton pracetak.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam modifikasi desain bangunan Rumah Sakit Universitas Airlangga adalah :

1. Modifikasi struktur bangunan menggunakan beton pracetak kecuali kolom.
2. Beton pracetak merupakan produksi pabrik.
3. Tidak menghitung rencana anggaran biaya dan perbandingan waktu penggunaan beton cor di tempat (*cast in situ*) dengan beton pracetak.

4. Perhitungan bangunan bawah (pondasi) cukup diberikan info gaya aksial dan momen.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penyusunan Tugas Akhir Terapan ini adalah memberikan wawasan mengenai desain struktur beton pracetak sebagai salah satu inovasi permasalahan konstruksi dengan menggunakan beton cor di tempat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Struktur Gedung

Sistem struktur gedung dirancang supaya mengurangi kegagalan konstruksi gedung terutama akibat beban gempa. Ada beberapa sistem struktur gedung yang biasa digunakan sebagai penahan gaya. Salah satu sistem struktur gedung yang digunakan adalah sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). SRPMK digunakan untuk bangunan di wilayah resiko gempa tinggi. Menurut SNI-1726-2012 pasal 3.5.3 tentang perencanaan bangunan terhadap gempa menyebutkan bahwa SRPMK merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur.

Konsep kolom kuat – balok lemah (*strong column weak beam*) dalam sistem rangka pemikul momen khusus dimaksudkan bahwa konstruksi kolom yang ada harus lebih kaku daripada balok, sehingga kerusakan struktur ketika terjadi beban lateral/gempa, terlebih dahulu terjadi pada balok, lalu kerusakan struktur terjadi pada kolom.

2.2. Dilatasi

Struktur gedung dibedakan atas dua kategori yaitu struktur gedung beraturan dan struktur gedung tidak beraturan. Bentuk bangunan mempengaruhi perilaku bangunan selama terjadinya gempa. Bangunan yang memiliki bentuk simetris akan bereperilaku lebih baik daripada yang tidak simetris selama terjadi gempa. Bangunan yang tidak simetris biasanya berebentuk seperti huruf L, U, H, T, Y dan bentuk lainnya. Bangunan yang tidak teratur dalam arah vertikal mengakibatkan keruntuhan saat terjadi gempa pada sisi bangunan yang memiliki kolom lebih sedikit.

Oleh karena itu, bangunan yang tidak simetris dibagi menjadi beberapa blok/bagian supaya setiap bagian tersebut menjadi simetris. Dilatasi merupakan sambungan atau garis pada sebuah bangunan yang memiliki struktur berbeda. Dilatasi atau pembagian bangunan bisa dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya :

1. Dilatasi dengan 2 kolom
Cara ini biasanya digunakan untuk bangunan yang memanjang.
2. Dilatasi dengan balok kantilever
Penggunaan balok kantilever dengan bentang $\frac{1}{3}$ dari bentang balok induk dan bentang kolom diperkecil $\frac{2}{3}$ dari kolom lainnya.
3. Dilatasi dengan balok gerber
Penggunaan balok gerber ini dengan tujuan jarak kolom tetap sama. Namun cara ini memiliki kelemahan dalam menahan beban horizontal.
4. Dilatasi dengan konsol
Penggunaan konsol juga memiliki tujuan agar jarak kolom tetap sama. Biasanya cara ini digunakan untuk material prefabrikasi.

KURANG BAIK	SEBAIKNYA

Gambar 2. 1. Denah Bangunan Gedung Baik dan Kurang Baik
Sumber : Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung 2006

2.3. Beton Pracetak

Menurut SNI 7833:2012 pasal 3.3.10 beton pracetak merupakan elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan. Beton pracetak sebenarnya sama saja dengan beton pada umumnya. Hanya saja yang membedakan adalah metode pelaksanaannya dengan memanfaatkan material pabrikasi yang dibuat di pabrik atau di lokasi proyek yang kemudian disatukan antar elemennya pada posisi sebenarnya.

Adapun keuntungan dari penggunaan beton pracetak antara lain :

- Kualitas beton yang terjamin dan akurasi dimensi yang lebih baik karena dihasilkan di lingkungan pabrik.
- Kecepatan dalam pelaksanaan pembangunannya.
- Pekerjaan di lokasi proyek menjadi lebih sederhana.

Sedangkan kekurangan dari penggunaan beton pracetak antara lain :

- Perlu perencanaan detail pada bagian sambungan.
- Perlu alat berat yang mampu mengangkat dan memindahkan elemen pracetak.

2.4. Elemen Beton Pracetak

2.4.1. Pelat

Pelat adalah elemen horizontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke rangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur (Dr. Edgar G. Nawy, P. E diterjemahkan Ir. Bambang Suryoatmono, M. Ss, 2010).

Berdasarkan *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, ada empat tipe pelat pracetak yang umum di produksi dan digunakan yaitu :

1. Pelat Pracetak Tanpa Lubang (*Solid Slab*)

Pelat tipe ini memiliki bentuk yang padat tanpa ada lubang. Sehingga proses pabrikasinya lebih mudah karena tidak membutuhkan cetakan khusus. Karena bentuknya yang padat dan tidak berlubang, maka beban yang diterima pelat tersebut adalah beban total pelat itu sendiri dan tidak ada proses reduksi dari pemanfaatan lubang. Biasanya pelat ini didesain lebih tipis dari tipe lainnya. Ketebalannya sekitar 4-8 inch.

2. Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)

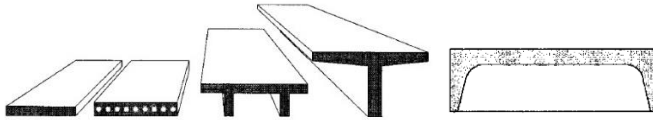
Hollow core slab merupakan pelat yang memiliki lubang di tengahnya sehingga mengurangi berat sendiri pelat tersebut. Biasanya pelat tipe ini menggunakan sistem *prestension*, dimana kabel prategang ditarik terlebih dahulu pada suatu dudukan khusus yang telah disiapkan kemudian dilakukan pengecoran. Hal tersebut mengakibatkan kapasitas dukung menjadi lebih besar. Pelat ini didesain dengan ketebalan 6-12 inch, lebar sampai 12 ft, dan bentang sampai 40 ft.

3. Pelat Pracetak *Double T* dan *Single T*

Pelat ini memiliki satu atau dua kaki berbentuk T yang terhubung. Biasanya pelat tipe ini digunakan untuk konstruksi jembatan. Pelat ini didesain dengan ketebalan 24-34 inch, lebar 8-15 feet, dan bentang 40-80 ft.

4. Pelat Pracetak C (*Channel Slabs*)

Channel slab merupakan pelat yang didesain dengan rusuk berbentuk C sebagai perkuatannya pada arah longitudinal. Pelat tipe ini digunakan untuk mendukung beban lantai yang berat atau beban atap dengan betang pendek sampai menengah.



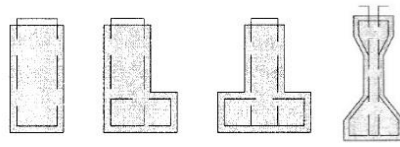
Gambar 2. 2. Tipe Pelat Pracetak

Sumber : Buku Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi,
2006

2.4.2. Balok

Balok merupakan elemen yang menyalurkan beban tributari dari pelat ke kolom. Berdasarkan *PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete*, ada lima tipe balok pracetak yang umum di produksi dan digunakan yaitu :

1. *Rectangular Beam*
Balok yang berbentuk kotak sehingga mudah diproduksi karena tidak membutuhkan banyak bekisting.
2. *Ledger Beam*
Bentuk balok menyerupai huruf L yang digunakan untuk perletakan pelat di tepi bangunan.
3. *Inverted-tee Beam*
Bentuk balok menyerupai huruf T terbalik yang digunakan untuk perletakan antar dua pelat yang ada di tengah bangunan.
4. *I Beam*
Bentuk balok yang menyerupai huruf I yang biasanya digunakan untuk konstruksi jembatan.
5. *Bulb-tee Beam*
Bulb-tee beam merupakan balok grider untuk konstruksi jembatan.

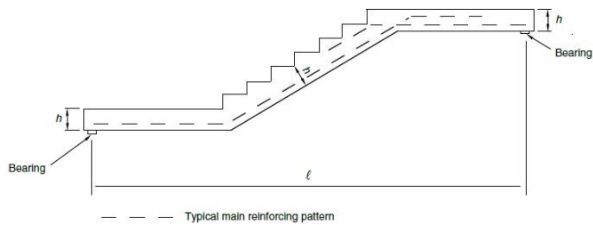


Gambar 2. 3. Tipe Balok Pracetak

Sumber : PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete

2.4.3. Tangga

Pengecoran tangga dengan metode *in situ* termasuk pekerjaan yang rumit. Oleh karena itu penggunaan beton pracetak untuk tangga yang dibuat di pabrik bisa memudahkan dan pekerjaan lebih aman di lokasi proyek. Kekuatan minimum beton pracetak untuk tangga pada 28 hari adalah 35 Mpa.



Gambar 2. 4. Desain Tangga Pracetak

Sumber : PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete

Tabel 2. 1. Ketentuan Bentang Maksimum Tangga Pracetak

h (in)	l (ft)
6	14
8	19
10	23
12	26

2.5. Tahapan Pekerjaan Beton Pracetak

2.5.1. Produksi

Hal yang penting dalam tahapan produksi adalah penentuan prioritas, elemen mana yang akan lebih dulu diproduksi. Selain itu pemilihan cetakan untuk menghasilkan beton dengan keakuratan dimensi lebih baik juga perlu diperhatikan. Beberapa metode yang digunakan dalam lingkungan pabrik untuk membuat beton pracetak adalah *Stationary Production*, *Slip-form Production*, dan *Flow-line Production* (Wulfram I. Erviyanto, 2006).

a. *Stationary Production*

Metode produksi yang dilakukan pada cetakan yang bersifat tetap sampai pekerjaan selesai. Cetakan yang digunakan mudah dibongkar. Untuk melepas beton dari cetakan dengan memutar ke bawah bagian samping cetakan. Metode ini digunakan untuk memproduksi dalam jumlah kecil (± 200 unit/tahun).

b. *Slip-form Production*

Metode produksi yang dilakukan pada cetakan yang dapat bergerak sepanjang *casting bed*. Untuk melepas beton dari cetakan dengan cara menggetarkan beton yang sudah dipadatkan. Metode ini digunakan untuk produksi beton sekitar 2000 unit/tahun.

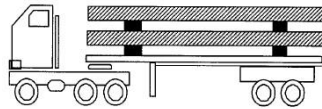
c. *Flow-line Production*

Metode produksi ini dilakukan untuk produksi elemen dengan jumlah massal, yakni lebih dari 2000 unit/tahun.

2.5.2. Transportasi

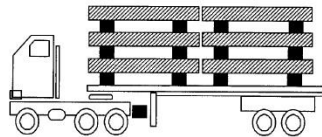
Sistem transportasi yang digunakan adalah jalur jalan raya. Karena jalan raya merupakan jalur yang memungkinkan dari lokasi pabrik ke lokasi proyek. Dalam pengiriman beton pracetak ke lokasi proyek diperhatikan beban yang akan diangkut oleh *flatbed truck* memenuhi syarat beban maksimum yang diizinkan. Di Indonesia ukuran maksimum *flatbed truck*

adalah 1200x240x150 cm dengan kapasitas maksimum 30 ton. Adapun beberapa sistem pengangkutan yang disesuaikan dengan titik angkat elemen beton pracetak, yaitu *typical two point support*, *rocker system*, dan *wall panel laid flat*.



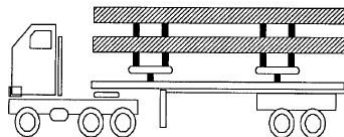
Gambar 2. 5. Typical Two Point Support

Sumber : Buku Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi, 2006



Gambar 2. 6. Rocker System

Sumber : Buku Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi, 2006



Gambar 2. 7. Wall Panel Laid Flat

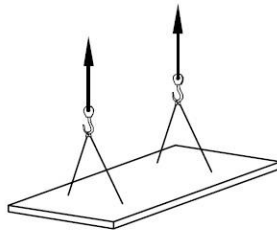
Sumber : Buku Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi, 2006

2.5.3. Pemasangan (*Erection*)

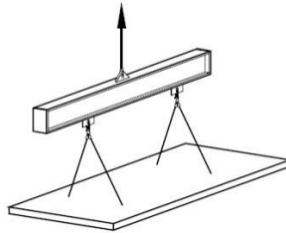
Proses pemasangan beton pracetak yang telah diproduksi dan layak untuk disatukan menjadi bagian bangunan disebut dengan *erection* (Wulfram I. Ervianto, 2006). Peralatan yang dibutuhkan pada tahap *erection* adalah *tower crane* atau *mobile crane*. Faktor yang mempengaruhi metode *erection* adalah

sistem strutur bangunan, jenis alat sambung yang akan digunakan, kapasitas alat berat (*crane*) yang tersedia, dan kondisi lapangan. Metode yang dapat digunakan dibedakan menjadi dua yaitu metode vertikal dan metode horizontal.

Metode vertikal adalah kegiatan penyatuan elemen beton pracetak yang dilakukan pada arah vertikal struktur bangunan. Metode vertikal ini digunakan untuk pemasangan kolom menerus dari lantai dasar hingga paling atas. Untuk bangunan dengan ketinggian tertentu yang tidak menggunakan kolom menerus, maka selama tahapan *erection* harus ditopang oleh struktur sementara (*bracing*) yang berfungsi untuk menahan gaya-gaya yang timbul selama *erection*. Sedangkan metode horizontal adalah kegiatan penyatuan elemen beton pracetak yang dilakukan pada arah horizontal bangunan. Pelaksanaan dengan metode horizontal dilakukan tiap satu lantai.



Gambar 2. 8. Pengangkatan dengan Katrol Tower Crane
Sumber : PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed
Concrete



Gambar 2. 9. Pengangkatan dengan Profil Baja (Spreader Beam) dan Katrol Tower Crane

Sumber : PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete

2.5.4. Sambungan (*Connection*)

Proses penyatuan elemen-elemen beton pracetak menjadi struktur bangunan yang monolit. Material yang harus disatukan ada dua jenis, yaitu beton dan baja (tulangan). Perencanaan posisi sambungan antar elemen beton pracetak disesuaikan di tempat yang terjadi momen kecil dan hanya sedikit elemen yang akan disambungkan. Cara penyambungan material beton dibedakan menjadi dua cara yaitu sambungan basah dan sambungan kering.

Sambungan basah dibedakan menjadi dua cara, yaitu :

- a. *In-situ Concrete Joints*
Cara penyambungannya dengan mengecor pertemuan elemen-elemen tersebut.
- b. *Pre-packed Aggregate*
Cara penyambungannya dengan menempatkan agregat pada bagian yang akan disambung kemudian dilakukan injeksi air semen pada bagian tersebut dengan menggunakan pompa hidrolis sehingga air semen tersebut akan mengisi rongga dari agregat tersebut.

Sambungan kering juga dibedakan menjadi dua cara, yaitu :

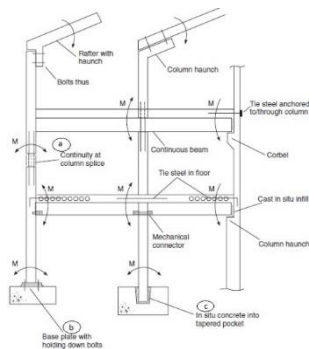
a. Sambungan Las

Sambungan ini menggunakan plat baja yang ditanam pada beton pracetak kemudian dilas untuk menyatukan kedua plat dari dua elemen beton pracetak. Kemudian plat baja ini dicor untuk melindungi dari korosi.

b. Sambungan Baut

Cara ini sama dengan sambungan las karena menggunakan plat baja yang ditanam pada beton pracetak. Namun untuk menyambung kedua plat tersebut menggunakan baut dengan kuat tarik tinggi. Kemudian plat baja dicor untuk melindungi dari korosi.

Untuk penyambungan tulangan baja bisa dilakukan dengan menggunakan *coupler* atau dengan perpanjangan tulangan baja. *Coupler* berfungsi untuk penyambungan tulangan antar kolom. Jadi, *coupler* dipasang di tulangan bagian bawah kolom atas dan di tulangan bagian atas kolom bawah.



Gambar 2. 10. (a) Penempatan Coupler; (b) Sambungan Kering; (c) Sambungan basah

Sumber : Precast Concrete Structures, 2002.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

Diagram Alir Perhitungan Struktur SRPMK

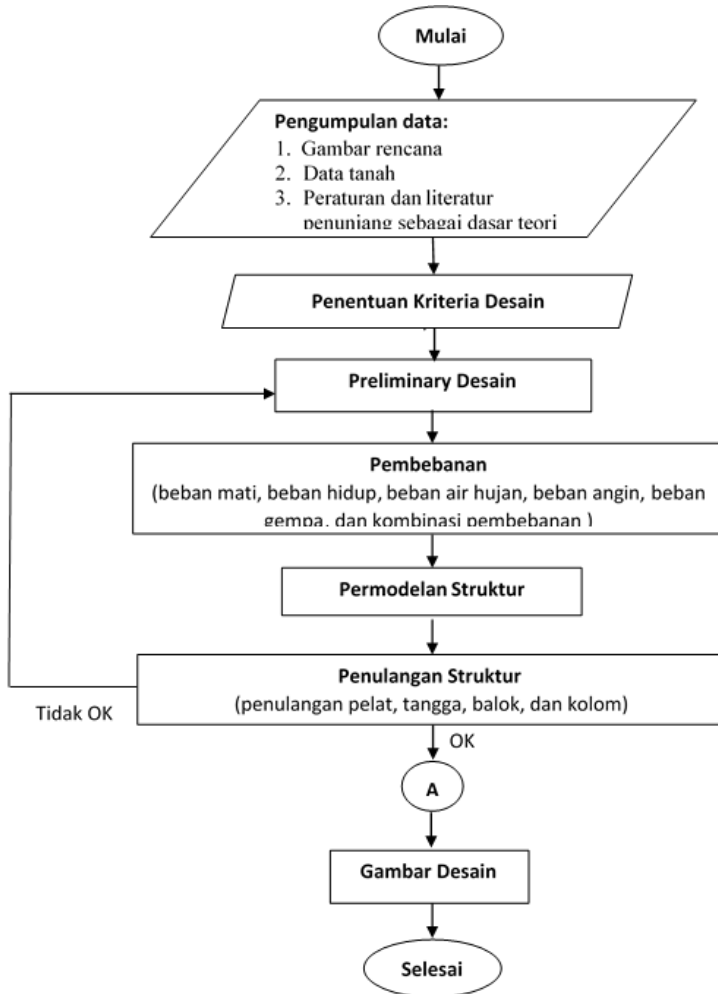
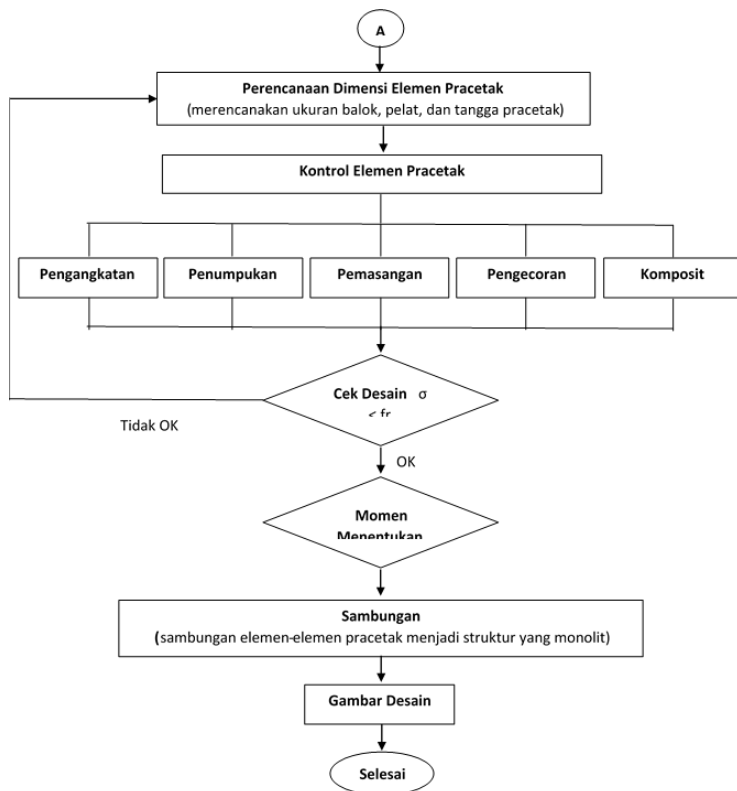


Diagram Alir Perhitungan Elemen Pracetak



3.1. Pengumpulan Data

Data umum bangunan, data material bahan, data tanah, dan data gambar dari objek desain Tugas Akhir Terapan sebagai berikut :

1. Data Umum

Nama bangunan: Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya

Alamat : Kampus C Universitas Airlangga, Jalan Mulyorejo, Surabaya

Fungsi : Rumah sakit

Jumlah lantai : 8

Tinggi bangunan : 34 m

Luas area proyek : 4 ha

Struktur utama : Struktur beton bertulang cor di tempat (*cast in situ*)

2. Data Tanah : -

3. Data Gambar : Terlampir

Data umum bangunan, data material bahan, data tanah, dan data gambar dari modifikasi objek desain proposal Tugas Akhir Terapan sebagai berikut :

1. Data Umum

Nama bangunan: Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya

Alamat : Jalan Mulyorejo, Surabaya

Fungsi : Rumah sakit

Jumlah lantai : 8

Tinggi bangunan : 34 m

Luas area proyek : 4 ha

Struktur utama : Struktur beton bertulang pracetak (*precast*)

2. Data Tanah : Terlampir

3. Data Gambar : Terlampir

Peraturan yang digunakan sebagai acuan dalam modifikasi desain dalam Tugas Akhir Terapan antara lain :

1. Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012).
2. Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung (SNI 7833:2012).
3. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013).
4. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan (SNI 2847:2013).
5. Menteri Pekerjaan Umum. 2006. Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung.

Beberapa literatur yang digunakan untuk menunjang pengerjaan Tugas Akhir Terapan antara lain :

1. *PCI*. 2010. *PCI Design Handbook Edition 7th Precast and Prestress Concrete*.
2. Kim S. Elliot. 2002. *Precast Concrete Structures*.
3. *New Zealand Concrete Society and the New Zealand Society for Earthquake Engineering*. 1999. *Structural Precast Concrete in Buildings*.
4. Rachmat Purwono. 2010. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Surabaya. ITS Press.
5. Wulfram I. Ervianto. 2006. Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi Beton Cetak dan Bekisting. Yogyakarta : Andi Yogyakarta.

3.2. Pemilihan Kriteria Desain

Dalam pemilihan kriteria desain, suatu bangunan harus direncanakan supaya kuat dan layak. Untuk modifikasi desain bangunan gedung rumah sakit ini menggunakan metode beton pracetak dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Metode beton pracetak dipilih karena bentuk struktur bangunan gedung yang tipikal setiap lantainya.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.1 sistem rangka pemikul momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa dan diproposikan terutama untuk menahan lentur. Selanjutnya komponen struktur rangka ini juga harus memenuhi kondisi-kondisi yang ditentukan dalam SNI 2847:2013 pasal 21.5.1.1 – 21.5.1.4.

3.3. Preliminary Desain

3.3.1. Dimensi Pelat

Pelat direncanakan sebagai pelat satu arah (*one-way slab*). Perencanaan tebal minimum pelat satu arah berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 Tabel 9.5(a).

3.3.2. Dimensi Balok

Ketebalan balok direncanakan sesuai SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a). Dan untuk lebar balok direncanakan sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.5.1.3 yaitu $b_w \geq 250\text{mm}$ dan $b_w \geq 0.3h$.

3.3.3. Dimensi Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.1.1 sampai 21.6.1.2 dimensi penampang kolom terpendek yang diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri tidak boleh kurang dari 300 mm dan rasio dimensinya terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

3.3.4. Dimensi Tangga

Syarat perencanaan tangga :

$$60 \leq 2t + i \leq 65$$

Syarat kemiringan tangga :

$$20^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

dimana,

t : tebal injakan
i : lebar injakan

3.3.5. Lift

Lift merupakan alat transportasi manusia dalam gedung dari satu tingkat ke tingkat lain. Perencanaan lift disesuaikan dengan perencanaan jumlah lantai dan jumlah pengguna lift. Metode yang digunakan dalam perencanaan lift adalah analisis konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift. Ruang landasan diberi kelonggaran (*lift pit*) untuk menghindari lift tidak jatuh sampai dasar landasan. Perencanaan ini mencakup perencanaan balok penumpu depan, penumpu belakang, dan balok penggantung lift.

3.4. Pembebanan Struktur

3.4.1. Beban

1. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural lainnya serta peralatan laying terpasang lain termasuk berat keran (SNI 1727:2013 pasal 3.1.1).

Berat jenis beton : 2400 kg/m³

2. Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan (SNI 1727:2013 pasal 4.3.1).

Tabel 3. 1. Beban Hidup

Hunian / Penggunaan	Beban Merata	Satuan
Rang operasi, laboratorium rumah sakit	60	kN/m ²
Ruang pasien rumah sakit	40	kN/m ²
Koridor di atas lantai pertama	80	kN/m ²

Sumber : SNI 1727:2013 Tabel 4-1

3. Beban Air Hujan

$$R = 0,0098(ds + dh)$$

R = Beban air hujan pada atap (kN/m²)

ds = Kedalaman air pada atap (mm)

dh = Tambahan kedalaman air pada atap (mm)

4. Beban angin

Beban angin direncanakan berdasarkan SNI 1727:2013 pasal 26. Lokasi bangunan jauh dari pantai (lebih dari 5 km).

5. Beban Gempa

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan beban gempa menurut SNI 1726:2012 adalah seabagai berikut:

- Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung pada tabel 1.
- Faktor keutamaan (I_e) gempa pada tabel 2.
- Klasifikasi kelas situ pada tabel 3 diolah dari data tanah.
- Percepatan batuan dasar periode pendek (S_s) pada gambar 9.
- Percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1) pada gambar 10.
- Percepatan respon spektrum periode pendek (F_a), pada tabel 4.

- Percepatan respon spectrum periode 1 detik (F_v), pada tabel 5.
- Parameter respon spectrum desain untuk periode pendek (S_{MS})

$$S_{MS} = F_a S_s$$

- Parameter respon spectrum desain untuk periode 1 detik (S_{M1})

$$S_{M1} = F_v S_1$$

- Parameter spektra desain untuk periode pendek (S_{DS})

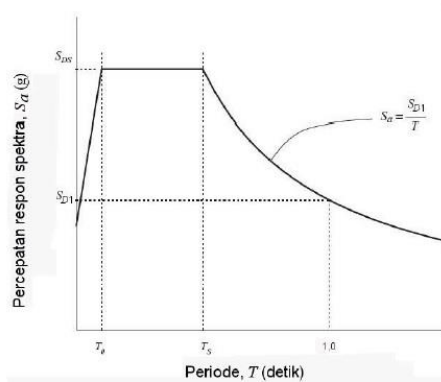
$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

- Parameter spektra desain untuk periode 1 detik (S_{D1})

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

- $T_0 : 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

- $T_s : \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$



Gambar 3. 1. Spektrum Respons Desain

Sumber : SNI 1726-2012 Gambar 1

Gaya gempa lateral yang timbul di setiap tingkat bangunan menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8.3 adalah :

$$F_{x,i} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \times V$$

Dimana,

$F_{x,i}$ Gaya lateral gempa yang bekerja pada elevasi balok lantai ke-i

w_i = Berat bangunan lantai ke-i

h_i = Tinggi lantai ke-i diukur dari dasar

V = Gaya geser akibat gempa

k = eksponen yang terkait perioda struktur

3.4.2. Kombinasi Pembebanan.

Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1727 : 2013:

1. Kombinasi ultimate, pasal 2.3.2

Kombinasi ini digunakan untuk perhitungan tulangan.

- $U = 1,4D$
- $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = 1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- $U = 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = 1,2D + 1,0E + L + 0,2S$
- $U = 0,9D + 1,0W$
- $U = 0,9D + 1,0E$

2. Kombinasi layan, pasal 2.4.1

Kombinasi ini digunakan untuk perhitungan pondasi.

- $U = D$
- $U = D + L$
- $U = D + Lr \text{ atau } S \text{ atau } R$
- $U = D + 0,75L + 0,75 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$
- $U = D + 0,75L + 0,75(0,6W) + 0,75 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $U = D + 0,75L + 0,75(0,7E) + 0,75S$

- $U = 0,6D + 0,6W$
- $U = 0,6D + 0,7E$

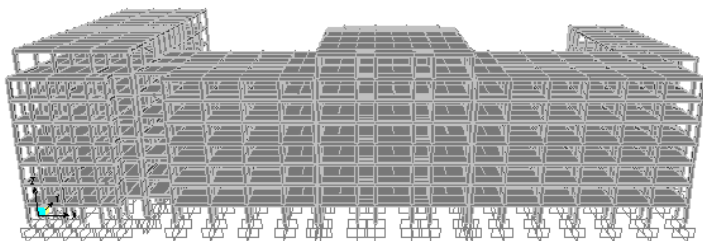
Dimana,

D	= beban mati
L	= beban hidup
E	= beban gempa
W	= beban angin
Lr	= beban hidup atap
R	= beban hujan
S	= beban salju

3.5. Permodelan Struktur

Bentuk bangunan yang menyerupai huruf U mengakibatkan bangunan perlu dilakukan dilatasi. Bangunan dibagi menjadi 5 bagian dengan menggunakan dilatasi dua kolom. Perencanaan jarak kedua kolom tersebut minimal 75 mm. Permodelan struktur direncanakan sedemikian rupa sehingga saat terjadi pergerakan/goyangan, bagian-bagian bangunan tersebut tidak saling bertabrakan.

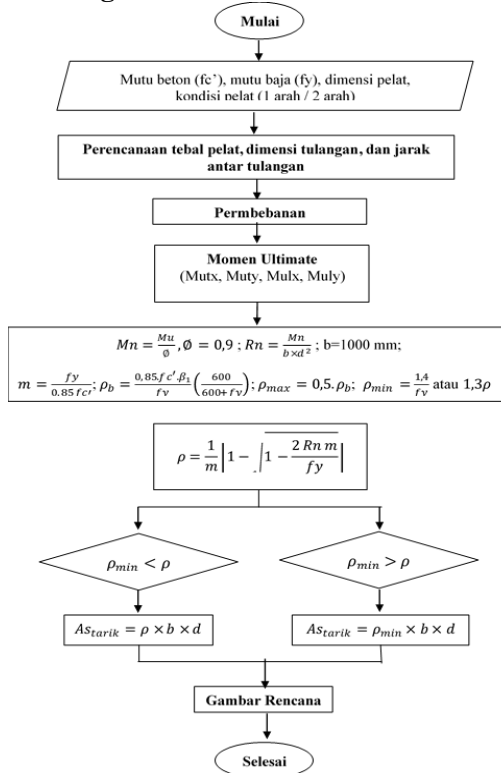
Setelah bangunan dimodelkan menjadi 5 bagian, struktur bangunan diberi pembebanan sesuai perhitungan sebelumnya. Hasil yang diperoleh dari permodelan struktur adalah gaya dalam meliputi gaya geser (D), momen lentur (M), momen torsi (T), dan gaya aksial (P).



Gambar 3. 2. Permodelan Struktur Rumah Sakit Universitas Airlangga

3.6. Penulangan

3.6.1. Penulangan Pelat



Dimana,

Mutx = Momen ultimate tumpuan x

Muty = Momen ultimate tumpuan y

Mulx = Momen ultimate lapangan x

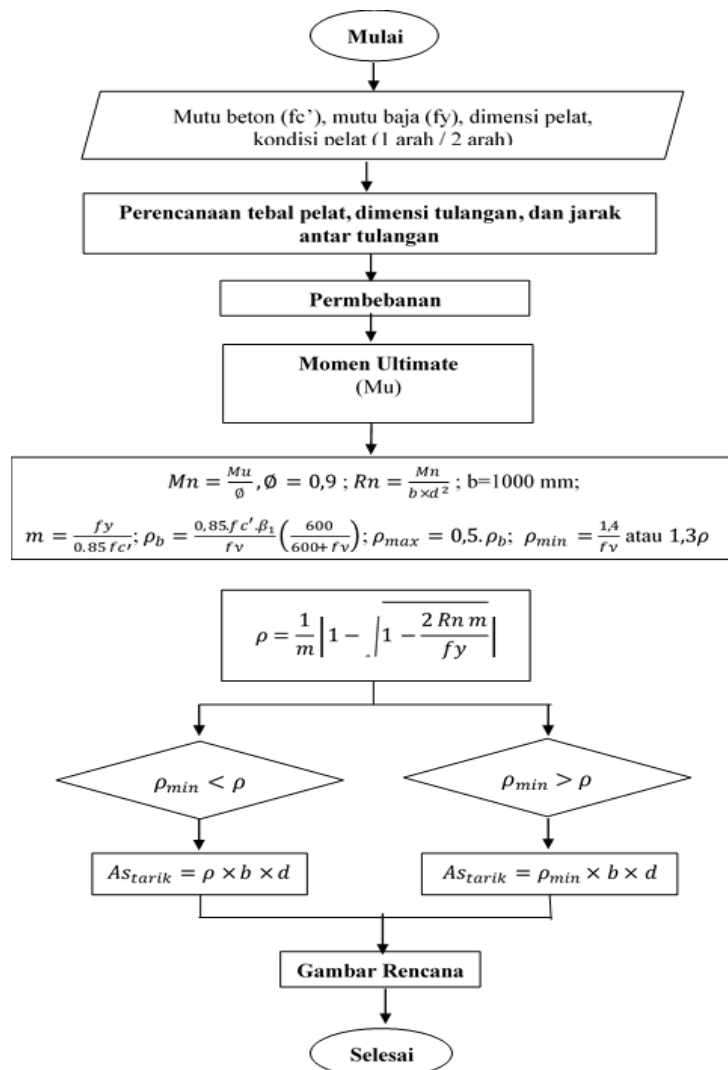
Muly = Momen ultimate lapangan y

Mn = Momen nominal

As = Luas tulangan

3.6.2. Penulangan Tangga

Penulangan pelat tangga dan pelat bordes didesain dengan cara yang sama seperti penulangan pelat lantai.



Kontrol jarak spasi tulangan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.6.3 :

$$S_{max} \leq 2 \times \text{tebal pelat}$$

Kontrol perlu tulangan susut dan suhu berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.12:

$$A_{s_{susut\ perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$A_{s_{bagi}} = 20\% \times A_{s_{pakai}}$$

Kontrol retak pelat tangga dan pelat bordes di dalam ruangan:

$$11 \times 10^6 \times \beta \times f_s \times \sqrt[3]{d_c \times A} \leq 0,4mm$$

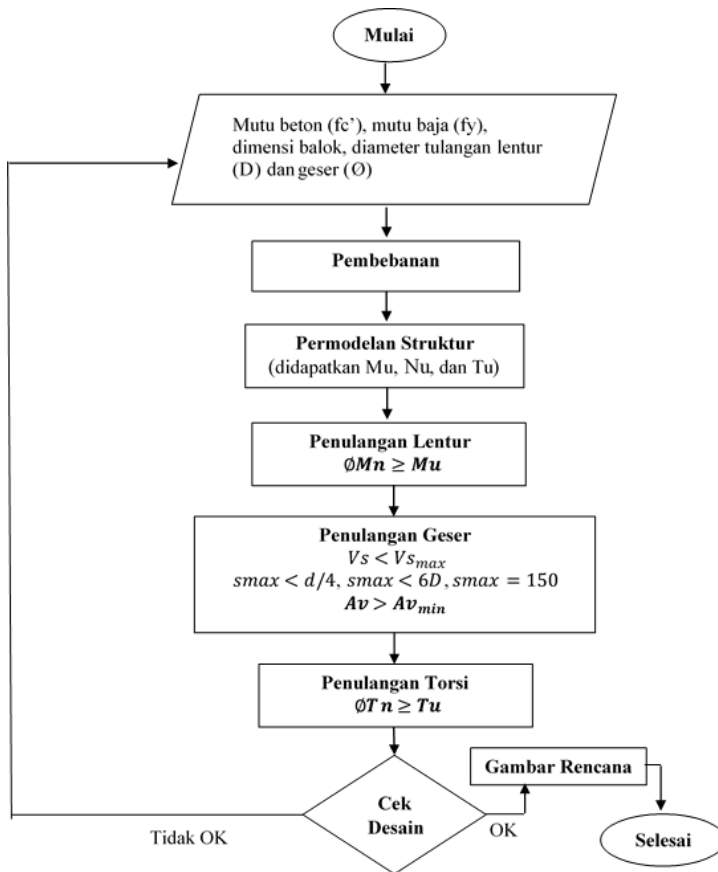
Dimana,

dc = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang

A = luas efektif beton Tarik

3.6.3. Penulangan Balok

Penulangan lentur balok berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.8, penulangan geser balok berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11 dan pasal 21.5.4, dan control tulangan torsi berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11 sebagai berikut :



Dimana,

M_u = momen lentur ultimate

N_u = geser ultimate

T_u = momen torsi terfaktor

M_n = momen lentur nominal pada penampang

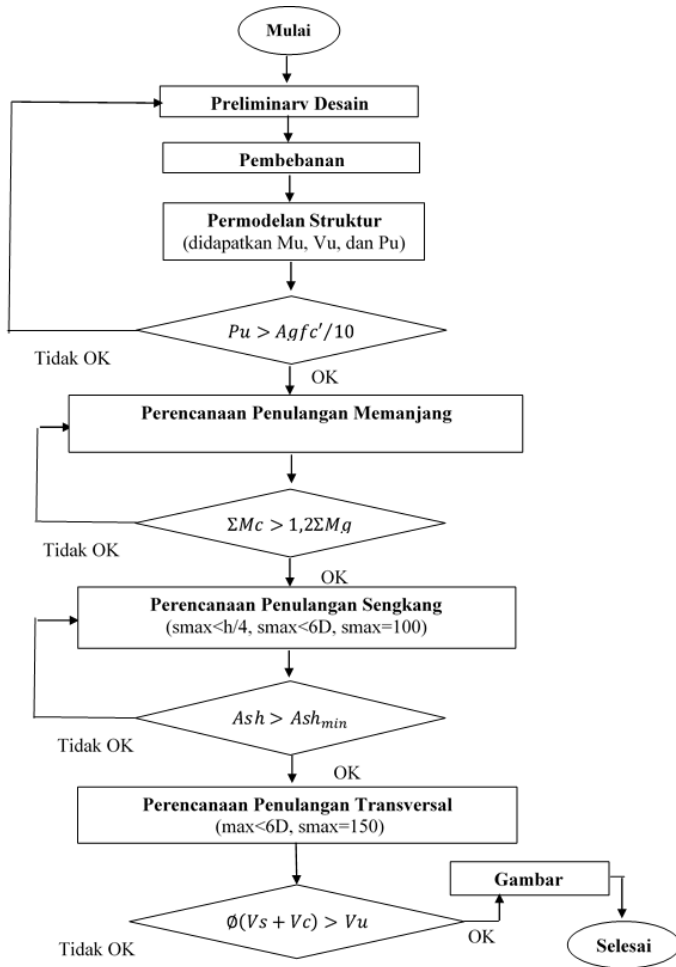
V_s = gaya geser nominal oleh tulangan

$V_{s_{max}}$ = gaya geser maksimum yang diijinkan

s = jarak antar tulangan
 s_{max} = jarak maksimum antar tulangan
 A_v = luas tulangan geser
 A_{vmin} = luas maksimum tulangan geser
 T_n = momen torsi nominal

3.6.4. Penulangan Kolom

Penulangan kolom akibat beban aksial tekan (penulangan memanjang) direncanakan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.5.1 dan penulangan geser (tulangan sengkang) direncanakan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 23.5.1. Untuk memenuhi persyaratan kolom kuat – balok lemah (*strong column weak beam*), kolom direncanakan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.2.



Dimana,

- M_u = Momen lentur ultimate
- V_u = Gaya geser ultimate
- P_u = Gaya aksial ultimate
- A_g = Luas bruto penampang beton

f_c'	= Kuat tekan beton
ΣM_c	= Jumlah momen dua kolom yang bertemu di satu titik
ΣM_g	= Jumlah momen dua balok yang bertemu di satu titik
A_{sh}	= Luas tulangan
s_{max}	= Jarak maksimum antar tulangan
h	= Tinggi kolom
D	= Diameter tulangan memanjang
V_s	= Kekuatan geser nominal oleh tulangan geser
V_c	= Kekuatan geser nominal oleh beton
V_u	= Gaya geser terfaktor pada penampang

3.7. Perencanaan Dimensi Elemen Pracetak

Desain elemen struktur tidak menggunakan pracetak sepenuhnya, melainkan komposit dengan dicor di tempat. Perencanaan dimensi pelat pracetak satu arah berdasarkan peraturan SNI 2847:2013 pasal 16.4.1 dengan lebar tidak boleh lebih dari 3,7 m. Adapun referensi buku dalam perencanaan dimensi elemen pracetak balok dan tangga menggunakan *PCI Design Handbook Edition 7th Precast and Prestress Concrete*.

Adapun perencanaan dimensi elemen pracetak juga disesuaikan dengan kapasitas maksimum *flatbed truck* dan *tower crane*.

- Ukuran *flatbed truck* 12x2,4x1,5 m dengan kapasitas maksimum 30 ton.
- Ukuran lengan maksimum *tower crane* 1 70 m dengan kapasitas maksimum 5,5 ton.

Ukuran lengan maksimum *tower crane* 2 65 m dengan kapasitas maksimum 7 ton.

3.8. Kontrol Elemen Pracetak

Perencanaan dimensi pracetak harus mampu menahan beban yang terjadi selama pengangkatan, penumpukan, pemasangan, pengecoran, dan beban setelah pracetak menjadi struktur komposit dengan beton yang dicor di tempat. Setiap tahapan tersebut beton pracetak mengalami momen. Dipilih momen terbesar antara momen perencanaan dalam permodelan struktur dan momen yang terjadi selama tahapan tersebut untuk menentukan tulangan yang digunakan.

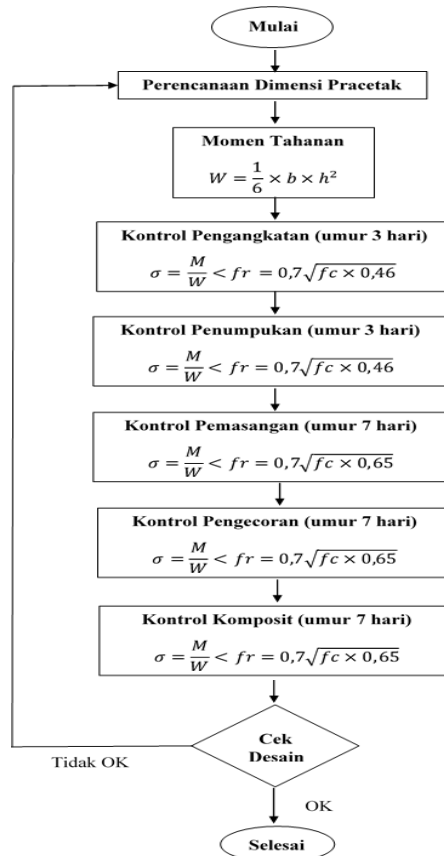
Kuat tekan beton pada setiap kontrol tahapannya berbeda-beda sesuai dengan umur hari beton. Kuat tekan beton harus mampu menahan momen tahanan yang diakibatkan dari beton pracetak sendiri.

Tabel 3. 2. Perkiraan Kuat Tekan Beton

Jenis semen ...	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)			
		Pada umur (hari)			
		3	7	28	29
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40
	Batu pecah	19	27	37	45
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48
	Batu pecah	25	32	45	54
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44
	Batu pecah	25	33	44	48
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53
	Batu pecah	30	40	53	60

Sumber : SNI 2834:200 Tabel 2

Dari tabel tersebut didapatkan pendekatan kuat tekan beton umur 3 hari adalah 46% kuat tekan beton, kuat tekan beton umur 7 hari adalah 65% kuat tekan beton, dan kuat tekan beton umur 28 hari adalah 100% kuat tekan beton.



Dimana ,

b = lebar elemen pracetak

h = tebal elemen pracetak

W = momen tahanan

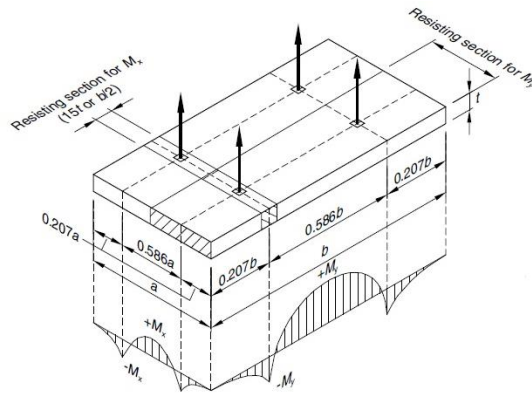
M = momen ultimate elemen

fr = modulus hancur beton

fc = kuat tekan beton

3.8.1. Kontrol Pengangkatan

Beton pracetak yang sudah berumur 3 hari dibawa dari pabrik menuju lokasi proyek. Pengangkatan dengan 4 titik dapat dilakukan dengan bantuan profil baja atau langsung diangkat dengan katrol tower crane.



Gambar 3. 3. Pengangkatan Elemen Pracetak dengan 4 Titik
Sumber : PCI Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete

$$+M_x = -M_x = 0,0107 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_y = 0,0107 w a b^2$$

Dimana,

M_x = Momen sumbu x

M_y = Momen sumbu y

w = Momen tahanan

a = Lebar elemen pracetak

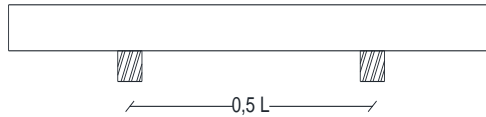
b = Panjang elemen pracetak

3.8.2. Kontrol Penumpukan

Beton pracetak diangkat kemudian ditumpuk di *flatbed truck* untuk diangkut dari pabrik menuju lokasi proyek. Sesampainya di lokasi proyek beton pracetak juga ditumpuk di

stock yard. Antar elemen pracetak diberi balok kayu dengan ukuran 5x5 cm. Beban yang bekerja saat penumpukan adalah berat sendiri precast dan beban pekerja.

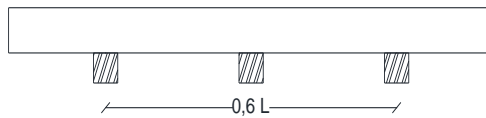
1. Penumpukan dengan 2 titik tumpu



$$M_T = \frac{1}{8} \times qu \times (0,5L)^2$$

$$M_L = \frac{1}{10} \times qu \times (0,5L)^2 + \frac{1}{4} \times Pu \times (0,5L)$$

2. Penumpukan dengan 3 titik tumpu



$$M_T = \frac{1}{8} \times qu \times (0,6L)^2$$

$$M_L = \frac{1}{10} \times qu \times (0,6L)^2 + \frac{1}{4} \times Pu \times (0,6L)$$

Dimana :

M_T = Momen Tumpuan

M_L = Momen Lapangan

qu = Beban ultimate yang bekerja = $1,2 \times$ berat sendiri precast

Pu = Beban pekerja yang bekerja = $1,6 \times 100$ kg

L = Panjang bentang

3.8.3. Kontrol Pemasangan

Pemasangan elemen pracetak pada posisi sebenarnya dilakukan saat umur beton 7 hari. Beban yang bekerja adalah berat sendiri precast dan pekerja.



$$M_T = \frac{1}{8} \times qu \times L^2$$

$$M_L = \frac{1}{10} \times qu \times L^2 + \frac{1}{4} \times Pu \times L$$

Dimana :

M_T = Momen Tumpuan

M_L = Momen Lapangan

qu = Beban ultimate yang bekerja = $1,2 \times$ berat sendiri precast

Pu = Beban pekerja yang bekerja = $1,6 \times 100$ kg

L = Panjang bentang

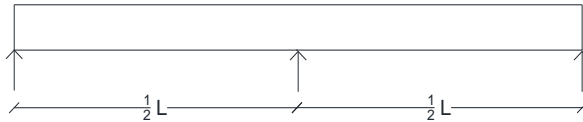
3.8.4. Kontrol Pengecoran

Pengecoran merupakan tahap akhir untuk menyatukan antar elemen pracetak. Pengecoran dilakukan saat beton pracetak berumur 7 hari. Pengecoran dilakukan dua kali. Pengecoran pertama dilakukan setinggi half slab dengan beban yang bekerja adalah berat balok termasuk insitu dan berat pelat pracetak. Pengecoran kedua dicor semuanya termasuk pelat penuh dengan beban yang bekerja adalah berat sendiri balok dan pelat termasuk insitu.

Tebal pengecoran berkisar 50 mm – 100 mm. Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen

struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan geser horizontal yang timbul tidak melampaui tegangan geser ijin. Bila tegangan geser yang terjadi melampaui tegangan geser ijin maka pengecoran topping tidak dianggap struktur komposit, melainkan sebagai beban mati yang bekerja pada komponen pracetak.

1. Pengecoran menggunakan *scaffolding* di tengah bentang



$$M_T = \frac{1}{8} \times qu \times (0,5L)^2$$

$$M_L = \frac{1}{10} \times qu \times (0,5L)^2 + \frac{1}{4} \times Pu \times (0,5L)$$

2. Pengecoran tidak menggunakan *scaffolding*



$$M_T = \frac{1}{8} \times qu \times L^2$$

$$M_L = \frac{1}{10} \times qu \times L^2 + \frac{1}{4} \times Pu \times L$$

Dimana :

M_T = Momen Tumpuan

M_L = Momen Lapangan

qu = Beban ultimate yang bekerja = $1,2 \times$ beban mati

Pu = Beban pekerja yang bekerja = $1,6 \times 100 \text{ kg}$

L = Panjang bentang

3.8.5. Kontrol Komposit

Setelah dilakukan pengecoran in situ maka beton menjadi material komposit. Dimana beban yang bekerja selain beban mati komposit dan pekerja juga ada beban hidup.



$$M_T = \frac{1}{8} \times qu \times L^2$$

$$M_L = \frac{1}{10} \times qu \times L^2 + \frac{1}{4} \times Pu \times L$$

Dimana :

M_T = Momen Tumpuan

M_L = Momen Lapangan

qu = Beban ultimate yang bekerja = $1,2 \times \text{beban mati} + 1,6 \times \text{beban hidup}$

Pu = Beban pekerja yang bekerja = $1,6 \times 100 \text{ kg}$

L = Panjang bentang

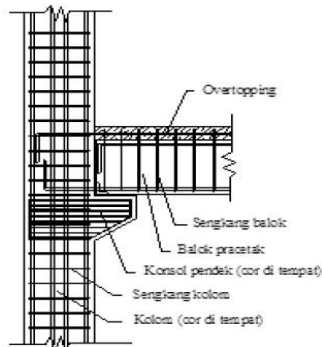
3.9. Sambungan

Salah satu kelemahan konstruksi pracetak terletak pada sambungan yang relatif kurang monolit, sehingga lemah terhadap beban lateral khususnya dalam menahan beban gempa. Untuk itu sambungan antara elemen pracetak direncanakan supaya memiliki kekauan seperti beton monolit.

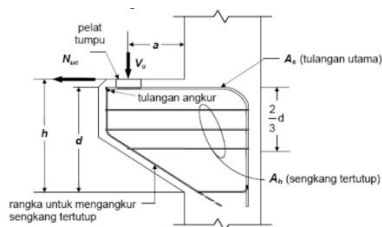
Sambungan antar elemen pracetak dalam Tugas Akhir Terapan ini menggunakan metode semi pracetak, yaitu elemen pracetak dengan tuangan beton *cast in situ* di atasnya. Diharapkan sambungan elemen—elemen tersebut memiliki perilaku mendekati sama dengan struktur monolit. Perencanaan sambungan pracetak didesain berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 16.6 mengenai sambungan.

3.9.1. Sambungan Balok dengan Kolom

Sambungan balok dengan kolom memanfaatkan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pendek tersebut berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8. Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.13. Untuk perencanaan kolom kuat – balok lemah (*strong column weak beam*) direncanakan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.8 mengenai rangka momen khusus yang dibangun menggunakan beton pracetak.



Gambar 3. 4. Sambungan Balok dengan Kolom

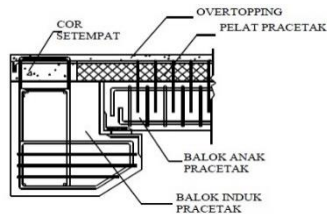


Gambar 3. 5. Perencanaan Konsol Pendek

3.9.2. Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Perencanaan sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pendek pada balok induk. Balok anak diletakkan

pada konsol pendek balok induk, kemudian dilakukan pengecoran di tempat bersamaan setelah pelat pracetak terpasang.



Gambar 3. 6. Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

3.9.3. Sambungan Pelat dengan Balok

Sambungan pelat dengan balok menggunakan sambungan basah yang diberi overtopping setebal 50 mm – 100 mm. Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.13.



Gambar 3. 7. Sambungan Pelat dengan Balok

3.9.4. Sambungan Pelat dengan Pelat

Sambungan antar pelat pracetak menggunakan sambungan pelat baja yang ditanam dan disambung pada bagian atas pelat pracetak. Untuk pelat dua arah dibutuhkan tambahan pelat siku baja dibagian bawah pelat pracetak untuk menahan tarik di bagian lapangan pelat, sedangkan untuk pelat satu arah tidak perlu tambahan pelat siku.

Sambungan antar pelat bordes menggunakan cara grouting. Grouting untuk mengisi celah antar elemen pracetak menggunakan material semen. Caranya bisa langsung dituangkan atau menggunakan pompa untuk area yang sulit dijangkau.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV PEMBAHASAN

4.1.Preliminary Desain

Hal pertama yang dilakukan dalam perencanaan desain adalah preliminary desain. Preliminary desain merupakan tahapan perencanaan dimensi awal suatu elemen struktur.

Elemen struktur dibagi menjadi dua yaitu struktur sekunder dan struktur primer. Struktur sekunder merupakan bagian dari struktur gedung yang tidak menahan kekakuan secara keseluruhan, namun tetap mengalami tegangan-tegangan akibat pembebanan yang bekerja pada bagian tersebut. Struktur sekunder meliputi pelat, balok anak, balok lift, dan tangga. Struktur primer meliputi balok induk dan kolom.

4.1.1. Data Perencanaan

Pada perencanaan gedung Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya dimodifikasi menggunakan beton pracetak dengan data perencanaan sebagai berikut :

- Nama bangunan : Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya
- Alamat : Kampus C Universitas Airlangga, Jalan Mulyorejo, Surabaya
- Fungsi : Rumah sakit
- Jumlah lantai : 8
- Tinggi bangunan : 34 m
- Luas area proyek : 4 ha
- Mutu beton (f'_c) : 35 Mpa
- Mutu baja (f_y) : 390 Mpa
- Letak bangunan : Jauh dari pantai

4.1.2. Pembebanan

1. Beban Mati

- Berat sendiri beton bertulang : 2400 kg/m³

- Keramik : 20,5 kg/m²
 - Dinding ½ bata : 600 kg/m³
 - Plafond : 7,1 kg/m²
 - Penggantung : 8 kg/m²
 - Plumbing + duckting : 25 kg/m³
 - Spesi : 5kg/m²
2. Beban Hidup
 - Beban pekerja : 250 kg/m³
 - Lantai rumah sakit : 250 kg/m³
 - Tangga dan bordes : 477 kg/m³
 3. Beban Angin
 - Jauh dari pantai : 25 kg/m³
 4. Beban Gempa
Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 1726:2012.

4.1.3. Perencanaan Dimensi Balok

Modifikasi pada tugas akhir ini menggunakan balok pracetak dengan bentuk penampang kotak. Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap, yang pertama balok pracetak yang diproduksi oleh pabrik kemudian pada tahap kedua dilakukan *overtopping* yaitu melakukan pengecoran balok di tempat. Sehingga ada dua ukuran balok yaitu balok sebelum komposit (balok pracetak) dan balok sesudah komposit.

Dimensi balok yang direncanakan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 pada tabel 9.5(a) merupakan ukuran balok secara utuh (sesudah komposit).

4.1.3.1. Dimensi Balok Induk

Balok induk direncanakan sebagai balok dengan tumpuan sederhana. Perencanaan tinggi minimum balok induk berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 pada tabel 9.5(a) dengan f_y selain 420 Mpa, sehingga didapatkan :

- Dimensi Balok Memanjang, $L = 7,2\text{m}$

$$h_{min} = \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) = \frac{7200}{16} \times \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 43,1 \text{ cm}$$

$$b_{min} = \frac{2}{3} \times h_{min} = \frac{2}{3} \times 43,1 = 28,7 \text{ cm}$$

$$h_{min} = 43,1 \text{ cm digunakan } h = 60 \text{ cm}$$

$$b_{min} = 28,7 \text{ cm digunakan } b = 40 \text{ cm}$$

- Dimensi Balok Melintang, $L = 4,8\text{m}$

$$h_{min} = \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) = \frac{4800}{16} \times \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 28,7 \text{ cm}$$

$$b_{min} = \frac{2}{3} \times h_{min} = \frac{2}{3} \times 28,7 = 19,1 \text{ cm}$$

$$h_{min} = 28,7 \text{ cm digunakan } h = 60 \text{ cm}$$

$$b_{min} = 19,1 \text{ cm digunakan } b = 40 \text{ cm}$$

Tabel 4. 1. Dimensi Balok Induk

Kode Balok Induk	Bentang bersih	h min	b min	h pakai	b pakai	Dimensi
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
BI1	360	21,5	14,4	60	40	40/60
BI2	720	43,1	28,7	60	40	40/60
BI3	480	28,7	19,1	60	40	40/60
BI4	630	37,7	25,1	60	40	40/60
BI5	330	43,1	28,7	60	40	40/60

4.1.3.2. Dimensi Balok Anak

Balok anak direncanakan sebagai balok pada dua tumpuan menerus. Perencanaan tinggi minimum balok anak berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 pada tabel 9.5(a) dengan f_y selain 420 Mpa, sehingga didapatkan :

- Dimensi Balok Anak, $L = 7,2\text{m}$

$$h_{min} = \frac{L}{21} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) = \frac{7200}{21} \times \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 32,8 \text{ cm}$$

$$b_{min} = \frac{2}{3} \times h_{min} = \frac{2}{3} \times 32,8 = 21,9 \text{ cm}$$

$h_{min} = 32,8$ cm digunakan $h = 60$ cm

$b_{min} = 21,9$ cm digunakan $b = 40$ cm

Tabel 4. 2. Dimensi Balok Anak

Kode Balok Induk	Bentang bersih	h min	b min	h pakai	b pakai	Dimensi
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
BA1	360	16,4	10,9	40	25	25/40
BA2	720	32,8	21,9	40	25	25/40
BA3	480	21,9	14,6	25	40	25/40

4.1.4. Perencanaan Tebal Pelat

Perencanaan tebal pelat minimum satu arah berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.2 tabel 9.5(a). Apabila pelat dianggap tertumpu sederhana, maka ketebalan minimumnya adalah $\frac{l}{20}$.

Tabel 4. 3. Dimensi Pelat

	Ukuran pelat			Lx	Ly	Keterangan	h min	h
				cm	cm		cm	cm
P1	180	×	480	148	440	Pelat satu arah	5,27	12
P2	180	×	480	155	440	Pelat satu arah	5,54	12
P3	360	×	720	328	680	Pelat satu arah	11,70	12
P4	360	×	720	320	680	Pelat satu arah	11,43	12
P5	180	×	360	148	320	Pelat satu arah	5,27	12
P6	315	×	720	283	680	Pelat satu arah	10,09	12
P7	360	×	630	320	590	Pelat satu arah	11,43	12
P8	270	×	720	230	680	Pelat satu arah	8,21	12

Apabila ketebalan pelat yang dipakai lebih besar dari tebal minimum yang direncanakan, maka lendutan tidak perlu dihitung.

4.1.5. Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom yang ditinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar. Data perencanaan kolom sebagai berikut :

- Tebal pelat = 12 cm
- Ukuran pelat = 1,8 x 3,6 m
- Tinggi lantai 1-7 = 4,2 m
- Tinggi lantai 8 = 4,6 m
- Dimensi balok induk = Tabel
- Dimensi balok anak = Tabel

a. Beban mati

Beban mati yang diterima kolom antara lain :

$$\begin{aligned}\text{Pelat} &= 1,8\text{m} \times 3,6\text{m} \times 0,12\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \times 7\text{lt} \\ &= 13063,68 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Balok induk} &= 0,4\text{m} \times 0,6\text{m} \times (1,8+3,6)\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 8\text{lt} \\ &= 24883,2 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Balok anak} &= 0,25\text{m} \times 0,4\text{m} \times 3,6\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 8\text{lt} \\ &= 6912 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Plafond} &= 1,8\text{m} \times 3,6\text{m} \times 7,1 \text{ kg/m}^2 \times 8\text{lt} \\ &= 368,064 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penggantung} &= 1,8\text{m} \times 3,6\text{m} \times 8 \text{ kg/m}^2 \times 8\text{lt} \\ &= 414,72 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Plumbing} &= 1,8\text{m} \times 3,6\text{m} \times 10 \text{ kg/m}^2 \times 8\text{lt} \\ &= 518,4 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Spesi} &= 1,8\text{m} \times 3,6\text{m} \times 5 \text{ kg/m}^2 \times 8\text{lt} \\ &= 259,2 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Aspal} &= 1,8\text{m} \times 3,6\text{m} \times 0,01\text{m} \times 1400\text{kg/m}^3 \\ &= 90,72 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{Dinding} = (1,8\text{m} + 3,6\text{m}) \times 4,2 \text{ m} \times 0,15\text{m} \times 600\text{kg/m}^3 \times 7\text{lt}$$

$$\begin{aligned}
 &= 14288,4 \text{ kg} \\
 \text{Dinding} &= (1,8\text{m} + 3,6\text{m}) \times 4,6 \text{ m} \times 0,15\text{m} \times 600\text{kg/m}^3 \times 1\text{lt} \\
 &= 2235,6 \text{ kg} \\
 \text{Sanitasi} &= 1,8\text{m} \times 3,6\text{m} \times 20 \text{ kg/m}^2 \times 8\text{lt} \\
 &= 1036,8 \text{ kg} \\
 \text{DL} &= 72365 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Beban hidup

$$\begin{aligned}
 \text{Beban lantai} &= 1,8\text{m} \times 3,6\text{m} \times 250\text{kg/m}^2 \times 7\text{lt} = 12960 \text{ kg} \\
 \text{Beban atap} &= 1,8\text{m} \times 3,6\text{m} \times 100\text{kg/m}^2 \times 1\text{lt} = \underline{648 \text{ kg}} + \\
 &\quad \text{Berat total (LL)} = 13608 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Bedasarkan SNI 1727:2013 Pasal 4.7.3 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu dua lantai atau lebih sebesar 20%. Jadi total beban hidup:

$$\begin{aligned}
 \text{LL} &= 80\% \times 13608 \text{ kg} \\
 &= 10886 \text{ kg} \\
 \text{Jadi, didapat berat total (Qu) :} \\
 \text{Qu} &= 1,2\text{DL} + 1,6\text{LL} \\
 &= 1,2 (72365 \text{ kg}) + 1,6 (10886 \text{ kg}) \\
 &= 104256,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Menurut 2847:2013 Pasal 9.3.2.2 untuk komponen struktur yang terkena beban aksial dan beban aksial dengan lentur, faktor reduksi yang digunakan adalah $\phi = 0,65$. Kemudian dapat diperkirakan luas dimensi kolom adalah sebagai berikut:

$$A = \frac{W}{\phi f_c} = \frac{87547,13}{0,65 \times 35} = 458,27 \text{ cm}^2$$

$$\text{Direncanakan } b = h = 65 \text{ cm}, A = 4225\text{cm}^2 > 458,27 \text{ cm}^2$$

4.2. Struktur Sekunder

4.2.1. Perencanaan Pelat

Tebal pelat direncanakan 12 cm dengan rincian tebal pelat precast 8 cm dan *overlapping* 4 cm. Desain pelat direncanakan pada beberapa keadaan yaitu sebelum dan sesudah komposit.

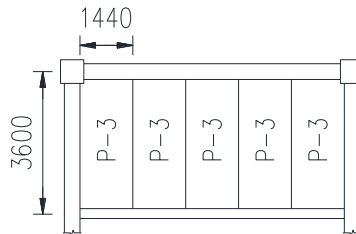
1. Sebelum Komposit

Keadaan ini merupakan keadaan awal pelat dimana pelat pracetak dan komponen *overlapping* belum menyatu. Perletakan pelat dianggap sebagai tertumpu sederhana.

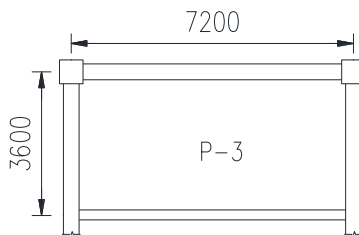
2. Sesudah Komposit

Keadaan ini merupakan keadaan dimana pelat pracetak dan komponen *overlapping* sudah memikul beban bersama-sama dan merupakan satu kesatuan struktur yang monolit. Perletakan pelat dianggap perletakan terjepit elastis.

4.2.1.1. Data Perencanaan



Gambar 4. 1. Dimensi Pelat Sebelum Komposit



Gambar 4. 2. Dimensi Pelat Sesudah Komposit

Data perencanaan pelat adalah sebagai berikut :

- Tebal pelat pracetak = 8 cm
- Tebal pelat *overtopping* = 4 cm
- Mutu beton (f_c') = 35 Mpa
- Mutu baja (f_y) = 390 Mpa
- Diameter tulangan rencana = 10 mm

Tabel 4. 4. Tipe Pelat Pracetak

Tipe Pelat	Dimensi			Berat
	(cm)			(kg)
P1	180	×	480	1246.08
P2	180	×	480	1309.44
P3	144	×	360	855.17
P4	144	×	360	835.58
P5	180	×	360	906.24
P6	144	×	315	737.66
P7	126	×	360	694.27
P8	270	×	720	3002.88

4.2.1.2. Pembebanan dan Kombinasi Beban

1. Sebelum Komposit

Dalam pembebanan sebelum komposit beban mati yang bekerja hanya berat sendiri pelat pracetak dan beban topping saat sudah dilakukan pengecoran. Untuk beban hidupnya yang bekerja merupakan beban kerja yaitu berat orang yang bekerja dan peralatan saat pemasangan pelat pracetak maupun saat pengecoran *overtopping*.

- Beban Mati (DL)

Berat sendiri $= 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$
 Berat *overtopping* $= 0,04 \times 2400 = 96 \text{ kg/m}^2$ +

DL = 288 kg/m²
- Beban Hidup

Beban kerja LL = 250 kg/m²

- Kombinasi Pembebanan
 - Ada pekerja $= 1,2 (192) + 1,6 (250) = 630,4 \text{ kg/m}^2$
 - Overtopping terpasang $= 1,2 (288) + 1,6 (250) = 745.6 \text{ kg/m}^2$

2. Sesudah Komposit

Beban yang bekerja pada pelat sesudah komposit adalah berat keseluruhan pelat 12 cm dan beban mati lainnya. Untuk beban hidup yang bekerja merupakan beban hidup rumah sakit.

- Beban mati (DL)

Beban mati pelat lantai :

Berat sendiri	$= 0,12 \times 2400$	$= 288 \text{ kg/m}^2$
Plafon + penggantung	$= 7,1 + 7$	$= 14,1 \text{ kg/m}^2$
Spesi (t = 2 cm)	$=$	42 kg/m^2
Keramik (t = 2 cm)	$=$	48 kg/m^2
Ducting AC + pipa	$= 10 + 5 \text{ kg/m}^2$	$= 15 \text{ kg/m}^2 +$
	DL	$= 407,1 \text{ kg/m}^2$

Beban mati pelat atap :

Berat sendiri	$= 0,12 \times 2400$	$= 288 \text{ kg/m}^2$
Plafon + penggantung	$= 7,1 + 7$	$= 14,1 \text{ kg/m}^2$
Spesi (t = 2 cm)	$=$	42 kg/m^2
Aspal (t = 1cm)	$= 0,01 \times 1400$	$= 14 \text{ kg/m}^2$
Ducting AC + pipa	$= 10 + 5 \text{ kg/m}^2$	$= 15 \text{ kg/m}^2 +$
	DL	$= 373,1 \text{ kg/m}^2$
- Beban Hidup

Beban hidup pada lantai	LL	$= 250 \text{ kg/m}^2$
Beban hidup pada atap	LL	$= 96 \text{ kg/m}^2$
- Kombinasi Pembebanan
 - Pelat Lantai $= 1,2 (407,1) + 1,6 (250) = 888,5 \text{ kg/m}^2$
 - Pelat Atap $= 1,2 (407,1) + 1,6 (96) = 601,3 \text{ kg/m}^2$

4.2.1.3. Perhitungan Tulangan Pelat

Perhitungan penulangan pelat direncanakan dalam dua kondisi yaitu tahap pelat sebelum komposit dan tahap pelat sesudah

komposit. Dari hasil kedua penulangan tersebut dipilih tulangan yang paling kritis untuk direalisasikan di lapangan.

Struktur pelat pada modifikasi desain ini merupakan pelat satu arah sehingga hanya membutuhkan satu tulangan utama searah melintang pelat dan tulangan bagi searah memanjang pelat.

Perhitungan pelat tipe P3 dengan dimensi 360x720 cm dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya. Berikut data perencanaan penulangan pelat :

- Dimensi pelat = 360×720 cm
- Tebal pelat pracetak = 80 mm
- Tebal pelat *overtopping* = 40 mm
- Tebal decking = 20 mm
- Diameter tulangan rencana = 10 mm
- Mutu beton (f'_c) = 35 Mpa
- Mutu tulangan baja = 390 Mpa

$$Ly = 720 - \left(\frac{40}{2} - \frac{40}{2} \right) = 680 \text{ cm}$$

$$Lx = 360 - \left(\frac{40}{2} - \frac{25}{2} \right) = 327,5 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{Ly}{Lx} = \frac{680}{327,5} = 2,08 > 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 02847:2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,80 \geq 0,65$$

Direncanakan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \rho_b = \frac{0,85 \times 0,80 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036 \text{ atau } \rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} = 0,038$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar, yaitu 0,038.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

4.2.1.4. Perhitungan Tulangan Pelat Sebelum Komposit

Menentukan momen (M_u) yang bekerja pada pelat berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 8.3.3 yaitu :

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{327,5}{136} = 2,41 > 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

$$\begin{aligned} MT &= 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X, X = 83 \\ &= 0,001 \times 745,6 \times 1,36^2 \times 83 = 114,46 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML &= 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X, X = 42 \\ &= 0,001 \times 745,6 \times 1,36^2 \times 42 = 57,92 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Penulangan arah X (tulangan utama)

$$dx = 80 - 20 - (10/2) = 55 \text{ mm}$$

$$dy = 80 - 20 - 10 - (10/2) = 45 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{114,46 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 0,47$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{13,11} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,47}{390}} \right] = 0,0012 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0038$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx = 0,0038 \times 1000 \times 55 = 208,58 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{208,58}{78,54} = 2,66 \approx 3$$

$$s_{max} = 3 \times t = 3 \times 80 = 240$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{3} = 333 \approx 300 > s_{max}$$

Jadi digunakan tulangan utama arah X D10-200

- Penulangan arah Y (tulangan bagi)

Pada arah Y atau searah memanjang pelat dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{min} = 0,002$ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1).

$$A_{Sperlu} = \rho \times b \times d_y = 0,002 \times 1000 \times 45 = 90 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 jarak tulangan maksimum $s \leq 5 \times \text{tebal pelat}$, maka: $s \leq 5 \times 80 = 400 \text{ mm}$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{90}{78,54} = 1,14 \approx 2$$

Jarak tulangan $s = 1000 / 2 = 500 \text{ mm} > s \text{ maksimum} = 400 \text{ mm}$. Maka digunakan tulangan bagi D10-300.

Tipe Pelat	Dimensi	Lx	Ly	Tul. Lap X	Tul. Y	Tul. Stud	Tul. Angkat
		cm	cm				
P1	180x480	147.5	440	D10 - 100	D10 - 300	Ø8-150	D-10
P2	144x480	155	440	D10 - 150	D10 - 300	Ø8-150	D-10
P3	144x360	136	327.5	D10 - 200	D10 - 300	Ø8-150	D-10
P4	144x360	136	320	D10 - 200	D10 - 300	Ø8-150	D-10
P5	180x360	147.5	320	D10 - 150	D10 - 300	Ø8-150	D-10
P6	180x361	136	282.5	D10 - 200	D10 - 300	Ø8-150	D-10
P7	180x362	113	320	D10 - 200	D10 - 300	Ø8-150	D-10
P8	180x363	230	680	D10 - 100	D10 - 300	Ø8-150	D-10

4.2.1.5. Perhitungan Tulangan Pelat Sesudah Komposit

Menentukan momen (M_u) yang bekerja pada pelat berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 8.3.3 yaitu :

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{680}{327,5} = 2,08 > 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

$$MT = 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X, X = 83$$

$$= 0,001 \times 888,5 \times 3,275^2 \times 83 = 790,97 \text{ kgm}$$

$$ML = 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X, X = 41$$

$$= 0,001 \times 888,5 \times 3,275^2 \times 41 = 390,72 \text{ kgm}$$

- Penulangan arah X (tulangan utama)

$$dx = 120 - 20 - (10/2) = 95 \text{ mm}$$

$$dy = 120 - 20 - 10 - (10/2) = 85 \text{ mm}$$

- Tumpuan

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{790,97 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 95^2} = 1,1$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{13,11} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,1}{390}} \right] = 0,0028 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0038$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx = 0,0038 \times 1000 \times 95 = 360,27 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{360,27}{78,54} = 4,58 \approx 5$$

$$s_{max} = 3 \times t = 3 \times 80 = 240$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{5} = 200 < s_{max}$$

Jadi digunakan tulangan tumpuan arah X D10-200

- Lapangan

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{110,29 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 85^2} = 0,15$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{13,11} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,15}{390}} \right] = 0,0004 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0038$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx = 0,0038 \times 1000 \times 95 = 360,27 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{360,27}{78,54} = 4,58 \approx 5$$

$$s_{max} = 3 \times t = 3 \times 80 = 240$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{5} = 200 < s_{max}$$

Jadi digunakan tulangan lapangan arah X D10-200

- Penulangan arah Y (tulangan bagi)

Pada arah Y atau searah memanjang pelat dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{min} = 0,002$ (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1).

$$A_{sperlu} = \rho \times b \times d_y = 0,002 \times 1000 \times 85 = 170 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 jarak tulangan maksimum $s \leq 5 \times \text{tebal pelat}$, maka: $s \leq 5 \times 80 = 400 \text{ mm}$

$$n = \frac{A_{sperlu}}{A_{stulangan}} = \frac{170}{78,54} = 2,16 \approx 3$$

Jarak tulangan $s = 1000/3 = 333,33 \text{ mm} < s \text{ maksimum} = 400 \text{ mm}$. Maka digunakan tulangan bagi D10-300.

4.2.1.6. Penulangan Stud Pelat

Sesuai dengan konsep *under reinforce* dimana daerah tekan pada penampang pelat komposit masih mampu memikul regangan yang terjadi (sebelum terjadi retak pada beton) pada saat tulangan tarik mengalami regangan lelehnya. Dengan kata lain, tegangan yang terjadi saat itu harus mampu dipikul oleh seluruh penampang.

Dibutuhkan pengikat antar elemen pracetak dan *overtopping* supaya menjadi struktur yang monolit berupa tulangan stud. Fungsi tulangan stud untuk mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horisontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban.

Perhitungan stud P3

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f'_c \times A_{topping} \\ &= 0,85 \times 35 \times 40 \times 1000 \\ &= 1190000 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan studdiameter Ø8 mm ($f_y=240$ Mpa).

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,3 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 17.5.3.1. dalam perencanaan sengkang pengikat yang bidang kontakya bersih, bebas kapur permukaan, dan secara sengaja dikasarkan, maka kuat geser V_{nh} tidak boleh diambil lebih dari $0,55b_v.d$ dalam Newton.

$$\begin{aligned} 0,55 A_c &= 0,55 \times b_v \times d \\ &= 0,55 \times 1000 \times 95 \\ &= 52250 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{nh} &= C = T \\ &= A_s \times f_y \\ &= 50,3 \times 240 \\ &= 12064 \text{ N} < 0,55b_v.d \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 17.6.1 pengikat sengkang dipasang untuk menyalurkan geser horisontal, luas pengikat sengkang tidak boleh kurang luas daripada luas yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

$s_{\max} = 4 \times 40 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$, atau $s_{\max} = 600 \text{ mm}$. Maka digunakan $s = 150 \text{ mm}$

$$A_{v_{\min}} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w \times s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847:2013 ps. 11.4.6.3})$$

$$A_{v_{\min}} = 0,062 \sqrt{35} \frac{1000 \times 150}{390} = 141,08 \text{ mm}^2$$

$$A_{v_{\min}} \geq \frac{0,35 b_w \times s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847:2013 ps. 11.4.6.3})$$

$$A_{v_{\min}} \geq \frac{0,35 \times 1000 \times 150}{390} = 134,62 \text{ mm}^2$$

Maka, $A_{v_{\min}} = 141,08 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan Ø8 mm-150, $A_v = 335,103 \text{ mm}^2 > A_{v_{\min}}$.

Jadi dipasang stud (*shear connector*) Ø8-150 mm.

Tabel 4. 5. Penulangan Pelat Sesudah Komposit

Tipe Pelat	Dimensi	Lx	Ly	Tul. Tump X	Tul. Lap X	Tul. Y	Tul. Stud
		cm	cm				
P1	180x480	147.5	440	D10-200	D10-200	D10-300	Ø8-150
P2	180x480	155	440	D10-200	D10-200	D10-300	Ø8-150
P3	360x720	327.5	680	D10-200	D10-200	D10-300	Ø8-150
P4	360x720	320	680	D10-200	D10-200	D10-300	Ø8-150
P5	180x360	147.5	320	D10-200	D10-200	D10-300	Ø8-150
P6	144x330	282.5	680	D10-200	D10-200	D10-300	Ø8-150
P7	144x315	320	590	D10-200	D10-200	D10-300	Ø8-150
P8	220x720	230	680	D10-200	D10-200	D10-300	Ø8-150

4.2.1.7. Cek Pelat sebagai Diafragma

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.11.7.1 rasio tulangan minimum untuk diafragma struktur memenuhi

4.2.1.8. Kontrol Lendutan

Tebal pelat yang digunakan lebih besar dari tebal pelat minimum seperti yang disyaratkan SNI 2847:2013 tabel 9.5(a) sehingga tidak perlu menghitung lendutan.

4.2.1.9. Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 2847:2013 adalah sebagai berikut :

- $l_{dh} \geq 8d_b = 8 \times 10 = 80 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013 ps. 12.5.1)
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013 ps. 12.5.1)
- $l_{dh} \geq \frac{0,24f_y\sqrt{f'_c}}{d_b} = 55,37$ (SNI 2847:2013 ps. 12.5.1)

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 150 mm.

4.2.1.10. Kontrol Pelat Pracetak

1. Pengangkatan

Pelat pracetak yang diproduksi di pabrik dilakukan pengangkatan menuju *flatbed truck* pada saat umur beton pracetak 3 hari. Perlu dilakukan kontrol untuk mengetahui apakah tegangan yang terjadi selama proses pengangkatan mampu diterima beton pracetak umur 3 hari.

$$f_c' = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 46\% f_c = 46\% \times 35 = 16,1 \text{ Mpa}$$

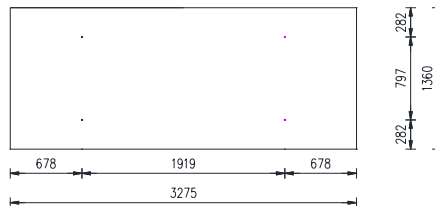
$$f_r = 0,7\sqrt{f_{ci}} = 0,7\sqrt{16,1} = 2,81 \text{ Mpa}$$

Dimana,

f_c' = kuat tekan beton

f_{ci} = kekuatan tekan beton rata-rata

f_r = modulus hancur beton



Gambar 4. 3. Titik Angkat Pelat Pracetak P3

Pelat pracetak diangkat menggunakan empat titik angkat seperti pada gambar tersebut. Tegangan yang dialami pelat adalah saat *stripping* (pelepasan) dan *turning* (berputar).

a. Tegangan Angkat akibat *Stripping*

Beban yang diterima pelat saat pengangkatan adalah berat sendiri pelat pracetak.

$$W = 1,2 \times 0,08 \times 2400 = 230,4 \text{ kg/m}^2$$

Tegangan yang terjadi akibat momen selama *stripping* (M) dan momen akibat sudut angkat (M'):

$$\begin{aligned}
 M_x &= 0,0107 \times w \times a^2 \times b \\
 &= 0,0107 \times 230,4 \times 1,36^2 \times 3,275 \\
 &= 14,9327 \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\
 &= 22,3999 \text{ kgm} = 223999 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_x' &= \frac{P \times yc}{\tan \theta} = \frac{w \times a \times b \times yc}{\tan \theta} \\
 &= \frac{230,4 \times 1,36 \times 3,275 \times 0,04}{1/0,43} \\
 &= 6,5677 \text{ kgm} = 65677 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_x \text{ tot} = 223999 + 65677 = 289676 \text{ Nmm}$$

$$Z_x = \frac{1}{6} \times \frac{b}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times \frac{327,5}{2} \times 8^2 = 1746,67 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{Z_x} = \frac{289676}{1746667} = 0,17 \text{ Mpa} < f_r$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= 0,0107 \times w \times a \times b^2 \\
 &= 0,0107 \times 230,4 \times 136 \times 327,5^2 \\
 &= 35,9606 \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\
 &= 53,9410 \text{ kgm} = 539410 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y' &= \frac{P \times yc}{\tan \theta} = \frac{w \times a \times b \times yc}{\tan \theta} \\
 &= \frac{230,4 \times 1,36 \times 3,275 \times 0,04}{1/0,94} \\
 &= 13,9563 \text{ kgm} = 139563 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M = 539410 + 139563 = 678973 \text{ Nmm}$$

$$Z_y = \frac{1}{6} \times \frac{a}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times \frac{136}{2} \times 8^2 = 72,5333 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{Z_y} = \frac{678973}{725333} = 0,94 \text{ Mpa} < f_r$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapat tegangan yang terjadi akibat *stripping* kurang dari modulus hancur beton. Sehingga beton pracetak umur 3 hari mampu menahan tegangan akibat *stripping*.

b. Tegangan Angkat akibat *Turning*

Proses *turning* pelat pracetak dilakukan di udara dengan menggunakan 4 titik angkat dalam keadaan datar. Kemudian dilakukan *turning* lagi sesuai kedudukan yang dikehendaki dengan bantuan tenaga manusia. Diharapkan tegangan yang terjadi akibat *turning* sangat kecil sehingga tidak mempengaruhi kondisi pelat.

2. Penumpukan

Beton pracetak umur 3 hari yang sudah diangkut dari pabrik disimpan di *stock yard*. Selama penyimpanan, pelat pracetak ditumpuk dengan menggunakan titik tumpu berupa balok kayu berukuran 5x10 cm.

$$f_c' = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 46\% f_c = 46\% \times 35 = 16,1 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \sqrt{16,1} = 2,81 \text{ Mpa}$$

a. Penumpukan arah memanjang

Beban yang diterima selama penumpukan adalah berat sendiri pelat pracetak dan beban pekerja. Pada arah memanjang diberi kayu pada kedua ujung sisi nya.

$$q_u = 1,2 \times 192 \times 3,275 = 754,56 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 250 = 400 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} M_x &= 1/8 \times q_u \times L^2 + 1/4 \times P_u \times L \\ &= 1/8 \times 754,56 \times (1,36)^2 + 1/4 \times 400 \times 1,36 \\ &= 310,4543 \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\ &= 465,6814 \text{ kgm} = 4656814 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Z_x = \frac{1}{6} \times b \times t^2 = \frac{1}{6} \times 327,5 \times 8^2 = 349,3333 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{Z_x} = \frac{4656814}{3493333} = 1,33 \text{ Mpa} < f_r$$

b. Penumpukan arah melintang

Beban yang diterima selama penumpukan adalah berat sendiri pelat pracetak dan beban pekerja. Pada arah melintang diberi tiga balok penumpu pada bagian ujung dan tengah bentang.

$$q_u = 1,2 \times 192 \times 3,275 = 313,34 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 250 = 400 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 1/8 \times q_u \times L^2 + 1/4 \times P_u \times L \\ &= 1/8 \times 313,34 \times (0,5 \times 3,275)^2 + 1/4 \times 400 \times (0,5 \times 3,275) \\ &= 268,7753 \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\ &= 403,1630 \text{ kgm} = 4031630 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Z_y = \frac{1}{6} \times a \times t^2 = \frac{1}{6} \times 136 \times 8^2 = 145,0667 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{Z_y} = \frac{4031630}{1450667} = 2,78 \text{ Mpa} < f_r$$

Jumlah maksimum tumpukan pelat yang mampu ditahan adalah sebagai berikut :

$$\text{Luas penampang tumpuan} = 3 \times 50 \times 100 = 15000 \text{ mm}^2$$

$$P = 1,2 \times 192 \times 3,275 \times 0,80 = 603,648 \text{ kg} = 6036,5 \text{ N}$$

$$f = P / A = 6036,5 / 15000 = 0,40 \text{ Mpa}$$

$$n = f_r / f = 2,81 / 0,40 = 7,02$$

$$P = 1,2 \times 192 \times 1,36 \times 0,80 = 250,675 \text{ kg} = 2506,75 \text{ N}$$

$$f = P / A = 2506,75 / 15000 = 0,17 \text{ Mpa}$$

$$n = f_r / f = 2,81 / 0,17 = 16,53$$

Dari perhitungan di atas, maka penumpukan maksimum pelat yang dilakukan di lapangan adalah 7 pelat.

3. Pemasangan

Setelah beton pracetak berumur 7 hari, maka dilakukan pemasangan (*installation*) pada posisi elemen struktur yang direncanakan. Saat pemasangan direncanakan menggunakan scaffolding di tengah bentang pelat arah melintang. Pemasangan scaffolding dimaksudkan untuk mengurangi momen dan lendutan pada pelat pracetak tersebut.

$$f_c' = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 65\% f_c = 46\% \times 35 = 22,75 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7\sqrt{f_{ci}} = 0,7 \sqrt{22,75} = 3,34 \text{ Mpa}$$

a. Pemasangan arah memanjang

Beban yang diterima selama penumpukan adalah berat sendiri pelat pracetak dan beban pekerja.

$$q_u = 1,2 \times 192 \times 3,275 = 754,56 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 250 = 400 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} M_x &= 1/8 \times q_u \times L^2 + 1/4 \times P_u \times L \\ &= 1/8 \times 754,56 \times (1,36)^2 + 1/4 \times 400 \times 1,36 \\ &= 310,4543 \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\ &= 465,6814 \text{ kgm} = 4656814 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Z_x = \frac{1}{6} \times b \times t^2 = \frac{1}{6} \times 327,5 \times 8^2 = 3493,33 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{Z_x} = \frac{4656814}{3493333} = 1,33 \text{ Mpa} < f_r$$

b. Pemasangan arah melintang

Beban yang diterima selama penumpukan adalah berat sendiri pelat pracetak dan beban pekerja.

$$q_u = 1,2 \times 192 \times 1,36 = 313,34 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 250 = 400 \text{ kg}$$

$$M_y = 1/8 \times q_u \times L^2 + 1/4 \times P_u \times L$$

$$\begin{aligned}
&= 1/8 \times 313,34 \times (0,5 \times 3,275)^2 + 1/4 \times 400 \times 0,5 \times 3,275 \\
&= 268,7753 \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\
&= 403,1630 \text{ kgm} = 4031630 \text{ Nmm} \\
Z_y &= \frac{1}{6} \times a \times t^2 = \frac{1}{6} \times 1,36 \times 8^2 = 1450,667 \text{ cm}^3 \\
\sigma_y &= \frac{M_y}{Z_y} = \frac{4031630}{1450667} = 2,78 \text{ Mpa} < f_r
\end{aligned}$$

4. Pengecoran

Pengecoran *overtopping* setebal 4 cm dilakukan setelah pemasangan pelat pracetak selesai. Jadi beban yang diterima pelat selain berat sendiri juga ada berat *overtopping*.

$$\begin{aligned}
f_c' &= 35 \text{ Mpa} \\
f_{ci} &= 65\% f_c = 46\% \times 35 = 22,75 \text{ Mpa} \\
f_r &= 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \sqrt{22,75} = 3,34 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

a. Pengecoran arah memanjang

Beban yang diterima selama penumpukan adalah berat sendiri pelat pracetak dan beban pekerja.

$$\begin{aligned}
q_u &= 1,2 \times 288 \times 3,275 = 1131,84 \text{ kg/m} \\
P_u &= 1,6 \times 250 = 400 \text{ kg} \\
M_x &= 1/8 \times q_u \times L^2 + 1/4 \times P_u \times L \\
&= 1/8 \times 1131,84 \times (1,36)^2 + 1/4 \times 400 \times 1,36 \\
&= 448,2584 \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\
&= 596,5221 \text{ kgm} = 5965221 \text{ Nmm} \\
Z_x &= \frac{1}{6} \times b \times t^2 = \frac{1}{6} \times 3275 \times 12^2 = 7860 \text{ cm}^3 \\
\sigma_x &= \frac{M_x}{Z_x} = \frac{5965221}{7860000} = 0,76 \text{ Mpa} < f_r
\end{aligned}$$

b. Pengecoran arah melintang

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2 \times 288 \times 1,36 = 470,02 \text{ kg/m} \\
 P_u &= 1,6 \times 250 = 400 \text{ kg} \\
 M_y &= 1/8 \times q_u \times L^2 + 1/4 \times P_u \times L \\
 &= 1/8 \times 470,02 \times (0,5 \times 3,275)^2 + 1/4 \times 400 \times 0,5 \times 3,275 \\
 &= 321,288 \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\
 &= 481,9320 \text{ kgm} = 4819320 \text{ Nmm} \\
 Z_y &= \frac{1}{6} \times a \times t^2 = \frac{1}{6} \times 1,36 \times 12^2 = 3264 \text{ cm}^3 \\
 \sigma_y &= \frac{M_y}{Z_y} = \frac{4819320}{3264000} = 1,48 \text{ Mpa} < f_r
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 6. Kesimpulan Kontrol Pelat Pracetak

Kontrol Tipe	Pengangkatan			Penumpukan			Pemasangan			Pengecoran		
	σ_x Mpa	σ_y Mpa	f_r Mpa	σ_x Mpa	σ_y Mpa	f_r Mpa	σ_x Mpa	σ_y Mpa	f_r Mpa	σ_x Mpa	σ_y Mpa	f_r Mpa
P1	0.26	2.06	2.81	1.35	2.06	2.81	1.35	4.06	3.34	0.80	2.24	3.34
P2	0.28	1.60	2.81	1.47	2.76	2.81	1.47	2.96	3.34	0.87	2.19	3.34
P3	0.17	0.94	2.81	1.33	2.78	2.81	1.33	2.78	3.34	0.76	1.48	3.34
P4	0.17	0.90	2.81	1.35	2.69	2.81	1.35	2.69	3.34	0.77	1.43	3.34
P5	0.19	0.90	2.81	1.53	2.56	2.81	1.53	2.56	3.34	0.88	1.37	3.34
P6	0.17	0.72	2.81	1.43	2.27	2.81	1.43	2.27	3.34	0.80	1.19	3.34
P7	0.12	0.90	2.81	1.01	2.03	2.81	1.01	3.03	3.34	0.57	1.58	3.34
P8	0.43	2.61	2.81	2.62	2.76	2.81	2.62	2.76	3.34	1.64	3.05	3.34

4.2.1.11. Analisa Kekuatan Tulangan Angkat Pelat Pracetak

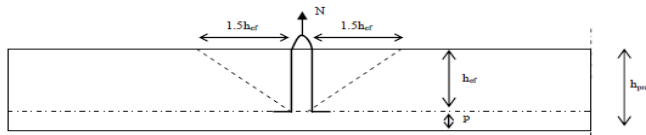
Beban ultimate yang dari pengangkatan pelat pracetak adalah

$$\begin{aligned}
 \text{BS precast} &= 1,36 \times 3,275 \times 0,08 \times 2400 = 855,2 \text{ kg} \\
 \text{Stud + tulangan} &= 10\% \text{ BS precast} = 85,52 \text{ kg} \\
 \text{Pekerja} &= 1,6 \times 250 = 400 \text{ kg} + \\
 q_U &= 1340,72 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan 4 titik angkat, maka setiap titik angkat menerima beban sebesar 335,18 kg. Direncanakan tulangan angkat menggunakan tulangan polos Ø6 mm ($f_y=240$ Mpa).

$$\begin{aligned}
 \sigma_{bj} &= f_y / 1,5 = 240 / 1,5 = 160 \text{ Mpa} \\
 A_s &= 3351,8 \text{ N} / 160 \text{ Mpa} = 20,9 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{tul} = 0,25 \times \pi \times 6 = 28,27 \text{ mm}^2 > A_s$$



Gaya tarik nominal yang bekerja pada angkur harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Kekuatan baja angkur (N_{sa})

$$N_n \leq N_{sa}$$

$$N_{sa} = n \cdot A_{se} \cdot f, \text{ dan } f_{uta} = 1.9f_{ya}, f_{uta} \leq 860 \text{ MPa}$$

Dimana,

N_n = gaya tarik pada angkur (N)

N_{sa} = kekuatan baja angkur (N)

n = jumlah angkur yang ditanam

A_{se} = luas tulangan angkur (mm^2)

f_{uta} = kekuatan tarik angkur baja (MPa)

f_{ya} = kekuatan leleh tarik angkur baja (MPa)

- Kekuatan pecah beton dari angkur tunggal terhadap gaya tarik (N_b)

$$N_n \leq N_b$$

$$N_b = k_c \sqrt{f_c} h_{ef}^{1.5}$$

Dimana,

N_n = gaya tarik pada angkur (N)

N_b = kekuatan pecah beton dari angkur tunggal (N)

$k_c = 10$ (*cast-in anchor*)

f_c = kuat tekan beton (MPa)

h_{ef} = tinggi efektif atau kedalaman angkur (mm)

$$N_n = N_b = 3351,8 \text{ N}$$

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{N_n}{k_c \sqrt{f'c}}\right)^2} = h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{3351,8}{10\sqrt{35}}\right)^2} = 14,75 \text{ mm}$$

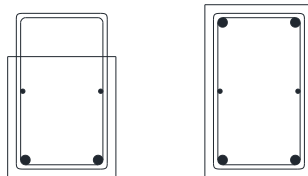
Dari perhitungan tersebut direncanakan tulangan angkat (angkur) dipasang sedalam 15 mm dari permukaan pelat pracetak.

4.2.2. Perencanaan Balok Anak

4.2.2.1. Data Perencanaan

- Dimensi balok anak : $25 \times 40 \text{ cm}$
- Bentang : 360 cm
- Mutu beton ($f'c$) : 35 Mpa
- Mutu baja (f_y) : 390 Mpa
- Diameter tulangan lentur : D16
- Diameter tulangan sengkang : $\emptyset 10$

Perencanaan balok anak dilakukan dalam dua kondisi saat sebelum komposit dan sesudah komposit. Sehingga ada dua dimensi balok anak yaitu dimensi balok anak sebelum komposit (pracetak) dan sesudah komposit. Dimensi balok sebelum komposit adalah $25 \times 28 \text{ cm}$ dan sesudah komposit $25 \times 40 \text{ cm}$.

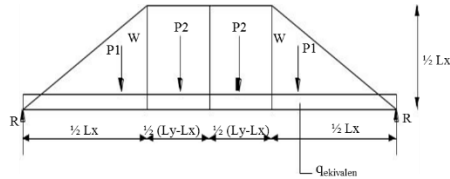


Gambar 4. 4. Balok Anak Sebelum Komposit dan Sesudah Komposit

4.2.2.2. Pembebanan dan Kombinasi Beban

Beban yang diterima balok anak adalah berat sendiri balok anak dan semua beban merata pada pelat. Distribusi beban pada

balok pendukung dianggap sebagai beban trapesium pada sisi yang panjang.



Gambar 4. 5. Distribusi Bebab Balok Anak

Beban trapezium

$$W = \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$P1 = \frac{1}{8} \times q \times Lx^2$$

$$P2 = \frac{1}{2} (Ly - Lx) \times \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$R = P1 + P2$$

$$M_{max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (P1 \times (\frac{1}{2} Ly - \frac{1}{3} Lx)) - (P2 \times \frac{1}{4} (Ly - Lx))$$

$$M_{max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (\frac{1}{2} P1 \times Ly) + (\frac{1}{3} P1 \times Lx) - (\frac{1}{4} \times P2 \times Ly) + (\frac{1}{4} \times P2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{2} P1 \times Ly) + (\frac{1}{2} P2 \times Ly) - (\frac{1}{2} P1 \times Lx) + (\frac{1}{3} P1 \times Lx) - (\frac{1}{4} \times P2 \times Ly) + (\frac{1}{4} \times P2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{4} P2 \times Ly) + (\frac{1}{3} P1 \times Lx) + (\frac{1}{4} P2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly) + (\frac{1}{24} \times q \times Lx^3) + (\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly) - (\frac{1}{16} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{48} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} \times q \times Ly^2 ((\frac{1}{2} Lx) - (\frac{1}{6} \times Lx^3 / Ly^2))$$

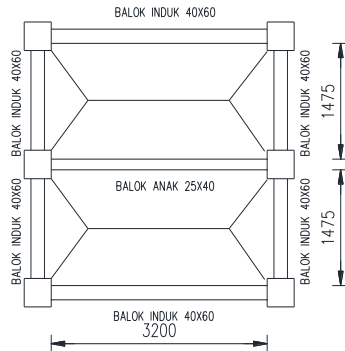
$$Mq = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$M_{max} = Meq$$

$$\frac{1}{8} \times q \times Ly^2 ((\frac{1}{2} Lx) - (\frac{1}{6} \times Lx^3 / Ly^2)) = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$q_{ek} = q \times \left(\left(\frac{1}{2} Lx \right) - \frac{1}{6} \frac{Lx^3}{Ly^2} \right)$$

$$q_{ek} = \frac{1}{2} \times q \times Lx \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right)$$



$$Lx = 180 - (40/2 + 25/2) = 147,5 \text{ cm}$$

$$Ly = 360 - (40/2 + 40/2) = 320 \text{ cm}$$

1. Sebelum Komposit

$$BS \text{ balok anak} = 0,25 \times 0,28 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}$$

$$DL \text{ pelat} = 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 2 \times \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx \right) \\ = 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 192 \times 1,475 \right) = 283,2 \text{ kg/m}$$

$$Qu = 1,2DL + 1,6LL \\ = 1,2(168 + 23,2) + 0 = 541,4 \text{ kg/m}$$

2. Sesudah Komposit

$$BS \text{ balok anak} = 0,25 \times 0,4 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}$$

$$DL \text{ pelat} = 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_D = 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times DL \times Lx \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right] \right\} \\ = 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times 288 \times 1,475 \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1,475}{3,2} \right)^2 \right] \right\}$$

$$\begin{aligned}
 &= 394,72 \text{ kg/m} \\
 \text{LL pelat} &= 200 \text{ kg/m}^2 \\
 Q_L &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times LL \times Lx1 \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx1}{Ly} \right)^2 \right\} \right\} \\
 &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times 200 \times 1,475 \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1,475}{3,2} \right)^2 \right\} \right\} \\
 &= 274,11 \text{ kg/m} \\
 Q_u &= 1,2DL + 1,6LL \\
 &= 1,2 (240 + 394,72) + 1,6 (274,11) \\
 &= 1200 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

4.2.2.3. Perhitungan Gaya Dalam

Perhitungan gaya dalam pada balok anak di bawah ini berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 8.3.3.

1. Sebelum Komposit

- Momen Lapangan

$$\begin{aligned}
 M_L &= 1/8 \times q \times L^2 \\
 &= 1/8 \times 541,4 \times (3,6)^2 = 877 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$
- Gaya Geser

$$\begin{aligned}
 V &= 1/2 \times q \times L \\
 &= 1/2 \times 541,4 \times 3,6 = 974,59 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2. Sesudah Komposit

- Momen Tumpuan

$$\begin{aligned}
 M_T &= 1/16 \times q \times L^2 \\
 &= 1/16 \times 1200 \times (3,6)^2 = 972 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$
- Momen Lapangan

$$\begin{aligned}
 M_L &= 1/10 \times q \times L^2 \\
 &= 1/10 \times 1200 \times (3,6)^2 = 1555 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$
- Gaya Geser

$$\begin{aligned}
 V &= 1/2 \times q \times L \\
 &= 1/2 \times 1200 \times 3,6 = 2160,42 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4.2.2.4. Perhitungan Tulangan Balok Anak Sebelum Komposit

- Dimensi balok anak = 250 × 280 mm
- t decking = 20 mm
- Mutu beton (f'_c) = 35 Mpa
- Mutu baja (f_y) = 390 Mpa
- Diameter tulangan lentur = D16
- Diameter tulangan sengkang = Ø10
- $d = 280 - 20 - 10 - \frac{1}{2} 16 = 222$ mm
- Tulangan Lentur

Dalam perhtiuangan sebelum komposit, perencanaan tulangan balok anak ditinjau dari beberapa kondisi yaitu pengangkatan, penumpukan, pemasangan, dan pengecoran.

Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 02847:2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,80 \geq 0,65$$

Direncanakan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \rho_b = \frac{0,85 \times 0,80 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036 \text{ atau}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} = 0,0038$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar, yaitu 0,0038.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

1. Pengangkatan

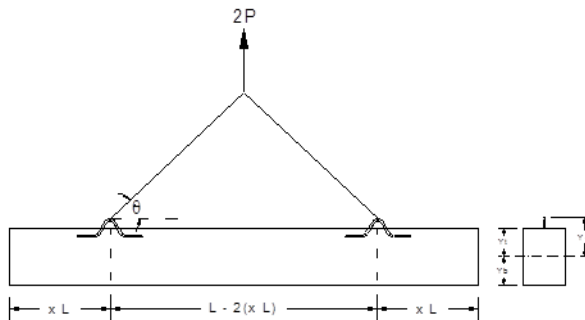
Balok anak pracetak diproduksi di pabrik. Diperlukan pengangkatan dari pabrik ke *flatbed truck* dan dari *flatbed truck*

ke *stock yard*. Balok anak diangkat saat beton berumur 3 hari. Direncanakan beton berumur 3 hari tersebut mampu menahan momen yang terjadi selama proses pengangkatan.

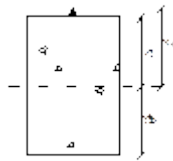
$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 46\% f_c = 46\% \times 35 = 16,1 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \sqrt{16,1} = 2,81 \text{ Mpa}$$



Gambar 4. 6. Detail Pengangkatan Balok Anak Pracetak



Gambar 4. 7. Garis Normal Balok Anak Pracetak

$$Y_t = Y_b = \frac{28}{2} = 14 \text{ cm}$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 19 \text{ cm}$$

$$Z = \frac{1}{16} \times b \times h^2 = \frac{1}{12} \times 250 \times 280^2 = 3266667 \text{ mm}^3$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times Y_c}{L \times t g \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4 \times Y_c}{L \times t g \theta} \right)} \right)}$$

$$= \frac{1 + \frac{4 \times 19}{360 \times \tan 45}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{14}{14} \left(1 + \frac{4 \times 19}{360 \times \tan 45} \right)} \right)}$$

$$= 0,24$$

$$LX = 360 \times 0,24 = 86,4 \text{ cm} = 87,5 \text{ cm}$$

Beban yang bekerja pada balok anak saat pengangkatan adalah berat sendiri.

$$W = 0,25 \times 0,28 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}$$

Momen yang terjadi selama pengangkatan :

$$M_T = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$= \frac{168 \times 0,24^2 \times 3,6^2}{2}$$

$$= 62,7057 \text{ kg/m} \times 1,5 \text{ (faktor kejut)}$$

$$= 94,0585 \text{ kg/m}$$

$$\sigma_T = \frac{M_T}{Z} = \frac{940585}{3266667} = 0,29 \text{ Mpa} < f_r$$

$$M_L = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4 \times Yc}{L \times \tan \theta} \right)$$

$$= \frac{168 \times 3,6^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,24 + \frac{4 \times 19}{3,6 \times \tan 45} \right)$$

$$= 68,3424 \text{ kg/m} \times 1,5 \text{ (faktor kejut)}$$

$$= 102,5136 \text{ kg/m}$$

$$\sigma_L = \frac{M_L}{Z} = \frac{1025136}{3266667} = 0,31 \text{ Mpa} < f_r$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapat tegangan yang terjadi akibat pengangkatan kurang dari modulus hancur beton. Berikut perhitungan tulangan yang dibutuhkan selama pengangkatan :

a. Tulangan Lentur

Kebutuhan tulangan lentur balok anak saat pengangkatan adalah sebagai berikut :

$$M_T = 94,0585 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{ML}{\phi b d^2} = \frac{94,0585 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 222^2} = 0,10$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,10}{390}} \right] = 0,0002 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 1,3 \times 0,0002 = 0,0004$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx^2 = 0,0004 \times 250 \times 222^2 = 17,68 \text{ mm}^2$$

$$As_{tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 7,54 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D10

$$M_L = 94,0585 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{ML}{\phi b d^2} = \frac{94,0585 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 222^2} = 0,10$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,10}{390}} \right] = 0,0002 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 1,3 \times 0,0002 = 0,0004$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx^2 = 0,0004 \times 250 \times 222^2 = 17,68 \text{ mm}^2$$

$$As_{tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 7,54 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D10

2. Penumpukan

Beton pracetak umur 3 hari yang sudah diangkut dari pabrik disimpan di *stock yard*. Selama penyimpanan, balok pracetak ditumpuk dengan menggunakan 2 titik tumpu berupa balok kayu berukuran 5x10 cm.

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 46\% f_c = 46\% \times 35 = 16,1 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \sqrt{16,1} = 2,81 \text{ Mpa}$$

Beban yang dipikul oleh selama penumpukan hanya berat sendiri balok pracetak.

$$q_u = 1,2 \times 0,25 \times 0,28 \times 2400 = 201,6 \text{ kg/m}$$

$$Z = \frac{1}{16} \times b \times h^2 = \frac{1}{12} \times 250 \times 280 = 3266667 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M &= 1/8 \times q_u \times L^2 + 1/4 \times P_u \times L \\ &= 1/8 \times 201,6 \times (0,6 \times 3,6)^2 + 1/4 \times 400 \times (0,6 \times 3,6) \\ &= 333,573 \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\ &= 500,3597 \text{ kgm} = 5003597 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{5003597}{3266667} = 1,53 \text{ Mpa} < f_r$$

Jumlah maksimum tumpukan pelat yang mampu ditahan adalah sebagai berikut :

$$\text{Luas penampang tumpuan} = 2 \times 50 \times 100 = 10000 \text{ mm}^2$$

$$P = 0,25 \times 0,28 \times 3,6 \times 2400 = 604,8 \text{ kg} = 6048 \text{ N}$$

$$f = P / A = 6048 / 10000 = 0,6048 \text{ Mpa}$$

$$n = f_r / f = 2,81 / 0,6048 = 4,6 \approx 5$$

Jadi jumlah maksimum balok dalam setiap tumpukan adalah 5 buah.

- Tulangan Lentur

Kebutuhan tulangan lentur balok anak saat penumpukan adalah sebagai berikut :

$$M_L = 500,3597 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{ML}{\phi b d^2} = \frac{500,3597 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 222^2} = 0,51$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,51}{390}} \right] = 0,0013$$

$$\rho_{pakai} = 1,3 \times 0,0013 = 0,0017$$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times dx^2 = 0,0017 \times 250 \times 222^2 = 94,73 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,6 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D16

3. Pemasangan

Setelah beton pracetak berumur 7 hari, maka dilakukan pemasangan (*installation*) pada posisi elemen struktur yang direncanakan. Untuk balok dengan bentang 3,6 m direncanakan tidak menggunakan scaffolding selama pemasangan.

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 65\% f_c = 46\% \times 35 = 22,75 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \sqrt{22,75} = 3,34 \text{ Mpa}$$

Beban yang diterima selama pemasangan adalah berat sendiri balok anak pracetak dan beban pekerja.

$$q_u = 1,2 \times 0,25 \times 0,28 \times 2400 = 201,6 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 250 = 400 \text{ kg}$$

$$Z = \frac{1}{16} \times b \times h^2 = \frac{1}{12} \times 250 \times 280^2 = 3266667 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} M &= 1/8 \times q_u \times L^2 + 1/4 \times P_u \times L \\ &= 1/8 \times 201,6 \times (0,5 \times 3,6)^2 + 1/4 \times 400 \times (0,5 \times 3,6) \\ &= 261,6480 \text{ kgm} \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\ &= 392,4720 \text{ kgm} = 3924720 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{3924720}{3266667} = 1,2 \text{ Mpa} < f_r$$

a. Tulangan Lentur

Kebutuhan tulangan lentur balok anak saat pengangkatan adalah sebagai berikut :

$$M_L = 392,4720 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{ML}{\phi b d^2} = \frac{392,4720 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 242^2} = 0,40$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,40}{390}} \right] = 0,0010$$

$$\rho_{pakai} = 1,3 \times 0,0010 = 0,0013$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx^2 = 0,0013 \times 250 \times 222^2 = 74,16 \text{ mm}^2$$

$$As_{tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,6 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D16

4. Pengecoran

Pengecoran *overtopping* dilakukan bersamaan dengan pengecoran *overtopping* pelat pracetak. Selama proses pengecoran, dipasang scaffolding di tengah bentang balok anak. Pengecoran dilakukan saat umur beton pracetak 7 hari.

$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 65\% f_c = 46\% \times 35 = 22,75 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \sqrt{22,75} = 3,34 \text{ Mpa}$$

Beban yang diterima selama pemasangan adalah berat sendiri balok anak pracetak, beton *topping* setebal 12 cm, dan beban pekerja.

$$q_u = 1,2 \times 0,25 \times 0,4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}$$

$$P_u = 1,6 \times 250 = 400 \text{ kg}$$

$$Z = \frac{1}{16} \times b \times h^2 = \frac{1}{12} \times 250 \times 280^2 = 3266667 \text{ mm}^3$$

$$M = 1/8 \times q_u \times L^2 + 1/4 \times P_u \times L$$

$$= 1/8 \times 288 \times (1,8)^2 + 1/4 \times 400 \times 1,8$$

$$= 296,64 \text{ kgm} \times 1,5 \text{ (faktor kejut)}$$

$$= 444,96 \text{ kgm} = 4449600 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{4449600}{3266667} = 1,36 \text{ Mpa} < f_r$$

a. Tulangan Lentur

Kebutuhan tulangan lentur balok anak saat pengangkatan adalah sebagai berikut :

$$M_T = 444,96 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{ML}{\phi b d^2} = \frac{444,96 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 242^2} = 0,45$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,45}{390}} \right] = 0,0012$$

$$\rho_{pakai} = 1,3 \times 0,0012 = 0,0015$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d^2 = 0,0015 \times 250 \times 222^2 = 84,16 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,6 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D16

➤ Tulangan Geser

$$V_u = 974,59 \text{ kg} = 974,59 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b w \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 250 \times 222$$

$$= 54723 \text{ N}$$

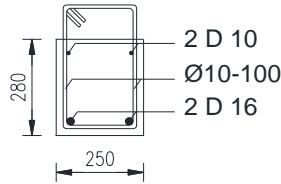
$$\phi V_c = 0,75 \times V_c = 0,75 \times 54723 = 41042 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 41042 = 20521 \text{ N}$$

Dari kondisi tersebut, dimana $V_u < 0,5 \phi V_c$ maka tulangan geser tidak diperlukan. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.4 jarak maksimum antar tulangan geser adalah sebagai berikut :

$$- s_{\max} < d/2 = 222/2 = 111 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan geser Ø10-100 mm.



Gambar 4. 8. Penulangan Balok Anak Sebelum Komposit

4.2.2.5. Perhitungan Tulangan Balok Anak Sesudah Komposit

- Dimensi balok anak = 250 × 400 mm
- t decking = 40 mm
- Mutu beton (f'_c) = 35 Mpa
- Mutu baja (f_y) = 390 Mpa
- Diameter tulangan lentur = D16
- Diameter tulangan sengkang = Ø10
- $d = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 16$ = 342 mm

➤ Tulangan Lentur

Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 02847:2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,80 \geq 0,65$$

Direncanakan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \rho_b = \frac{0,85 \times 0,80 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036 \text{ atau } \rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} = 0,0038$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar, yaitu 0,0038.

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

Kebutuhan tulangan lentur balok anak sebelum komposit adalah sebagai berikut :

- Tumpuan

$$M_T = 972 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{MT}{\phi b d^2} = \frac{972 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 342^2} = 0,42$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,42}{390}} \right] = 0,0011$$

$$\rho_{pakai} = 0,0038$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx^2 = 0,0038 \times 250 \times 342^2 = 324,25 \text{ mm}^2$$

$$As_{tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,6 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{324,25}{201,6} = 1,2 \approx 2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D16

- Lapangan

$$M_L = 1555 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{ML}{\phi b d^2} = \frac{1555 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 342^2} = 0,66$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,66}{390}} \right] = 0,0017$$

$$\rho_{pakai} = 0,0038$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx^2 = 0,0038 \times 250 \times 342^2 = 324,25 \text{ mm}^2$$

$$As_{tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,6 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{324,25}{201,6} = 1,2 \approx 2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D16.

➤ Tulangan Geser

$$V_u = 9217 \text{ kg} = 92170 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times bw \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 250 \times 342 = 84304,14 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times V_c = 0,75 \times 84304,14 = 63228,10 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 63228,10 = 14913,45 \text{ N}$$

$$V_{smin} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{92170}{0,75} = 122993,33 \text{ N}$$

$$\phi(V_c + V_{smin}) = 0,75 (84304,14 + 122993,33) = 155398,10 \text{ N}$$

Dari kondisi tersebut, dimana $\phi V_c < V_u < \phi(V_c + V_{smin})$, maka balok anak tersebut membutuhkan tulangan geser minimum. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 jarak maksimum antar tulangan geser adalah sebagai berikut :

- $s_{max} < d/4 = 342/4 = 85,5 \text{ mm}$
- $s_{max} < 6D = 6 \times 16 = 96 \text{ mm}$
- $s_{max} < 150 \text{ mm}$

Digunakan tulangan geser $\phi 10$ -100 mm.

Tabel 4. 7. Tulangan Terpasang Balok Anak

Tipe Balok Anak	L	b	h	Tulangan Tumpuan			Tulangan Lapangan		Sengkan
	m	mm	mm	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Bawah	
BA1	4.8	0.25	0.4	2 - D 16	2 - D 10	2 - D 16	2 - D 16	2 - D 16	$\phi 10$ -100
BA2	7.2	0.25	0.4	3 - D 16	2 - D 13	2 - D 16	3 - D 16	5 - D 16	$\phi 10$ -100
BA3	3.6	0.25	0.4	2 - D 16	2 - D 10	2 - D 16	2 - D 16	2 - D 16	$\phi 10$ -100

4.2.2.6. Kontrol Lendutan

Apabila tinggi minimum balok memenuhi SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a), maka lendutan pada balok tidak dihitung.

$$h_{min} = \frac{L}{21} \times \left(0,4 + \frac{fy}{700}\right) = \frac{3600}{21} \times \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 16,4 \text{ cm}$$

$$h_{\text{pracetak}} = 28 \text{ cm} > h_{\text{min}}$$

$$h_{\text{komp}} = 40 \text{ cm} > h_{\text{min}}$$

4.2.2.7. Analisa Kekuatan Tulangan Angkat Balok Anak Pracetak

Beban ultimate dari pengangkatan balok pracetak adalah:

$$\text{BS precast} = 0,25 \times 0,28 \times 3,2 \times 2400 = 537,6 \text{ kg}$$

$$\text{Stud + tulangan} = 10\% \text{ BS precast} = 53,76 \text{ kg}$$

$$\text{Pekerja} = 1,6 \times 250 = 400 \text{ kg} +$$

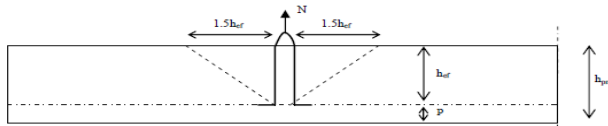
$$q_U = 991,36 \text{ kg}$$

Dengan menggunakan 2 titik angkat, maka setiap titik angkat menerima beban sebesar 495,68 kg. Direncanakan tulangan angkat menggunakan tulangan polos $\varnothing 10 \text{ mm}$ ($f_y = 240 \text{ Mpa}$).

$$\sigma_{bj} = f_y / 1,5 = 240 / 1,5 = 160 \text{ Mpa}$$

$$A_s = 4956,8 \text{ N} / 160 \text{ Mpa} = 30,98 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{tul}} = 0,25 \times \pi \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2 > A_s$$



Gambar 4. 9. Perencanaan Tulangan Angkat pada Balok Anak

Gaya tarik nominal yang bekerja pada angkur harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Kekuatan baja angkur (N_{sa})

$$N_n \leq N_{sa}$$

- Kekuatan pecah beton dari angkur tunggal terhadap gaya tarik (N_b)

$$N_n \leq N_b$$

$$N_n = N_b = 4956,8 \text{ N}$$

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{Nn}{kc\sqrt{frc}}\right)^2} = h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{4956,8}{10\sqrt{35}}\right)^2} = 19,15 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut maka tulangan angkat (angkur) dipasang sedalam 20 mm dari permukaan balok anak pracetak.

4.2.3. Perencanaan Balok Lift

4.2.3.1. Data Perencanaan

Perencanaan lift akan meninjau balok-balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan rumah sakit ini direncanakan menggunakan lift penumpang yang diproduksi “Louser”. Berikut data mengenai lift :

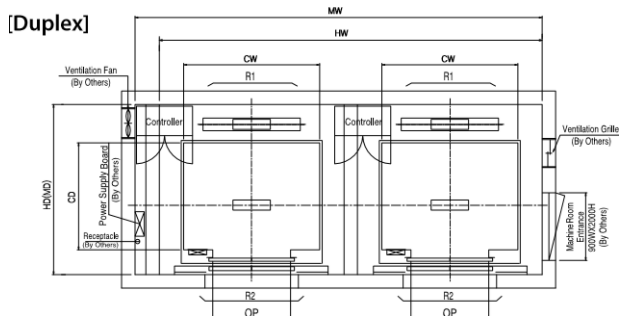
- Tipe Lift = IRIS NV
- Kapasitas = 15 orang / 1350 kg
- Motor = 18,5 KW
- Lebar pintu (*opening width*) =
- Dimensi sangkar (*car size*) = 1800 x 1700 mm
- Dimensi ruang luncur(*hoistway size*)= 4850 x 2400 mm
- Beban reaksi ruang mesin

R1 = 8900 kg

R2 = 6000 kg

Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		CW	CD	HW	HD	HW	HD	MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	2550	2450	2450	10200	7000	10950	8700
			2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300	2300				

Gambar 4. 10. Brosur Lift

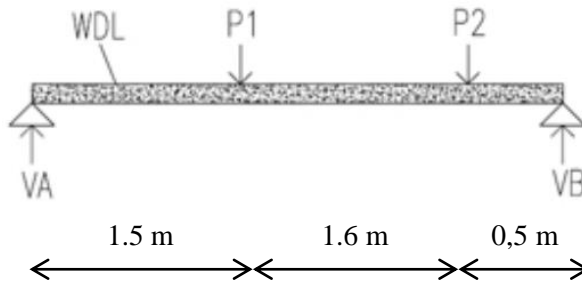


Gambar 4. 11. Denah Lift

Bentang L = 360 cm
 h min = $1/16 \times 360 = 18,32$ cm
 h pakai = 60 cm
 b pakai = 40 cm

4.2.3.2. Penulangan Balok Lift

a. Pembebanan



$$P1 = R1 / 2 = 4450 \text{ kg}$$

$$P2 = R2 / 2 = 3000 \text{ kg}$$

Distribusi beban terpusat P pada setiap perletakan :

$$V_{Ap1} = 4450 \times \frac{2.1 \text{ m}}{3.6 \text{ m}} = 2600 \text{ kg}$$

$$V_{Bp1} = 4450 - 2600 = 1850 \text{ kg}$$

$$V_{Ap2} = 3000 \times \frac{0,5 \text{ m}}{3,6 \text{ m}} = 420 \text{ kg}$$

$$V_{Ap1} = 3000 - 420 = 2580 \text{ kg}$$

Beban mati:

$$Q \text{ pelat} = 0,12 \times 3,6 \times 2400 = 1036,8 \text{ kg/m}$$

$$Q \text{ balok} = 0,4 \times 0,6 \times 2400 = \underline{576 \text{ kg/m}} +$$

$$\text{DL} = 1619 \text{ kg/m}$$

Beban hidup ruang mesin elevator menurut SNI 1727:2013
Tabel 4-1 :

$$LL = 300 \text{ kg/m}$$

$$Qu = 1,2DL + 1,6LL$$

$$= 1,2(1036,8) + 1,6(300)$$

$$= 2415,36 \text{ kg/m}$$

b. Gaya Dalam

$$M_T = 1/8 \times Qu \times L^2 + V_{AP1} \times L + V_{AP2} \times L$$

$$= 1/8 \times 2415,36 \times 3,6^2 + 2600 \times 1,8 + 3000 \times 1,8$$

$$= 9348,8 \text{ kgm}$$

$$V_u = 1/2 \times Qu \times L + V_{AP1} + V_{AP2}$$

$$= 1/2 \times 2415,36 \times 3,6 + 2600 + 420$$

$$= 4227,68 \text{ kg}$$

Data Perencanaan :

- Dimensi balok = 400 × 600 mm
- Tebal decking = 40 mm
- Mutu beton f'c = 35 Mpa
- Mutu baja fy = 390 Mpa
- Diameter tulangan lentur = D22
- Diameter tulangan geser = Ø12

c. Perhitungan Tulangan Lentur

Untuk mutu beton $f'_c = 35$ MPa berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,80 \geq 0,65$$

Direncanakan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \rho_b = \frac{0,85 \times 0,80 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036 \text{ atau } \rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} = 0,0038$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar, yaitu 0,0038.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

Kebutuhan tulangan lentur balok anak sebelum komposit adalah sebagai berikut :

$$M_T = 9348,8 \text{ kgm}$$

$$d = 600 - 40 - 13 - \frac{1}{2} \times 22 = 536 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{M}{\phi b d^2} = \frac{9348,8 \times 10^4}{0,8 \times 400 \times 536^2} = 1,02$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,02}{390}} \right] = 0,0027$$

$$\rho_{pakai} = 0,0027$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,00277 \times 250 \times 536^2 = 568,93 \text{ mm}^2$$

$$As_{tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 = 380,13 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{568,93}{380,13} = 1,5 \approx 2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D22

d. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 4227,68 \text{ kg} = 42276,8 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b w \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 400 \times 536 = 211401,3 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times V_c = 0,75 \times 211401,3 = 158550,94 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 158550,94 = 79275,47 \text{ N}$$

Dari kondisi tersebut, dimana $V_u < 0,5 \phi V_c$, maka balok anak tersebut tidak membutuhkan tulangan geser. Dipasang tulangan geser dengan jarak $s = d/2 = 268 \text{ mm}$.

Dipasang tulangan geser Ø12-250

4.2.4. Perencanaan Tangga

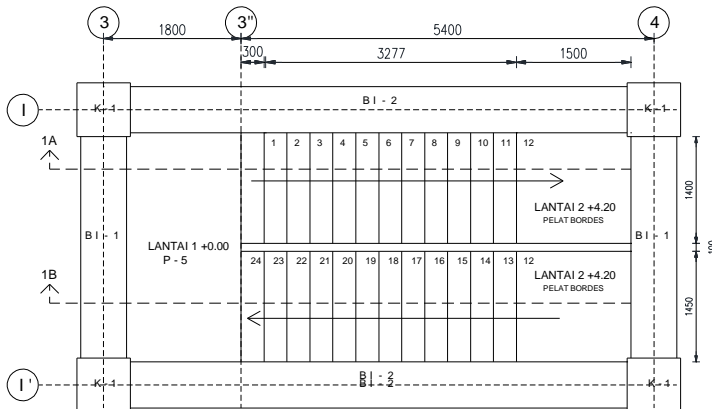
Konstruksi tangga dibuat dengan sistem pracetak. Sedangkan landasan untuk tumpuan tangga beton pracetak pada daerah lantai dicor di tempat.

Perancangan tangga diasumsikan sebagai frame dua dimensi karena hasil analisa gaya-gaya dalamnya mendekati nilai gaya-gaya dalam pada tangga sebenarnya. Perletakan tangga direncanakan sebagai sendi-rol karena tidak ada momen pada ujung-ujung balok yang dapat mengakibatkan penambahan momen pada kolom.

4.2.4.1. Data Perencanaan

- Mutu beton f'_c = 35 Mpa
- Mutu baja f_y = 390 Mpa
- Tinggi antar lantai = 420 cm
- Elevasi bordes = 210 cm
- Panjang bordes = 180 cm

- Panjang horizontal tangga = 360 cm
- Lebar tangga = 180 cm
- Tebal pelat miring = 12 cm
- Tebal pelat bordes = 12 cm
- Tinggi injakan (t) = 17,5 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Diameter tulangan lentur = 10 cm
- Decking = 20 cm
- Jumlah injakan (n) = $\frac{210}{17,5} = 12$
- Kemiringan tangga (α) = $\arctan \frac{210}{420} = 26,57^0$
- Syarat : $60 \leq (2t+i) \leq 65$ = $60 \leq 65 \leq 65$ (OK)
- $tr = \frac{i}{2} \times \sin 26,57^0 = 6,7$ cm
- Tebal pelat rata-rata = $tp+tr = 12 + 6,7 = 18,7$ cm $\approx 18,5$ cm



Gambar 4. 12. Perencanaan Tangga

4.2.4.2. Perencanaan Tangga

a. Pembebanan Pelat Tangga

Beban Mati :

$$\text{Pelat tangga} = \frac{0,185}{\cos 26,57} \times 1 \times 2400 = 555 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi horizontal} = 1 \times 5 = 5 \text{ kg/m}$$

Spesi vertikal	$= 1 \times 5$	$= 5 \text{ kg/m}$
Keramik horizontal	$= 1 \times 20,5$	$= 20,5 \text{ kg/m}$
Keramik vertikal	$= 1 \times 20,5$	$= 20,5 \text{ kg/m}$
Sandaran	$=$	$\underline{50 \text{ kg/m} +}$
	DL	$= 656 \text{ kg/m}$

Beban Hidup :

LL = 479 kg/m (SNI 1727:2013 Tabel 4.1)

Kombinasi Pembebanan :

$q_1 = 1,2DL + 1,6LL = 1,2(656) + 1,6(479) = 1550 \text{ kg/m}$

b. Pembebanan Pelat Bordes

Beban Mati :

Pelat bordes	$= 0,12 \times 1 \times 2400$	$= 288 \text{ kg/m}$
Spesi horizontal	$= 1 \times 5$	$= 5 \text{ kg/m}$
Keramik horizontal	$= 1 \times 20,5$	$\underline{= 20,5 \text{ kg/m} +}$
	DL	$= 313,5 \text{ kg/m}$

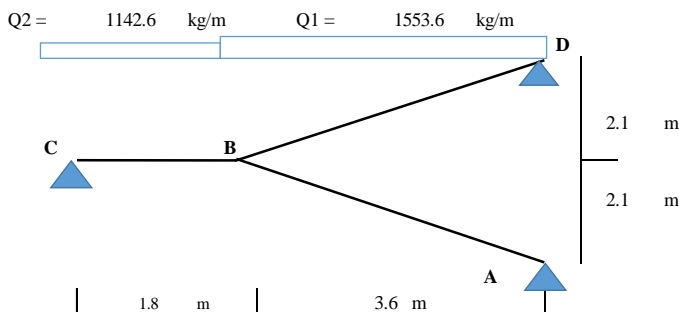
Beban Hidup :

LL = 479 kg/m (SNI 1727:2013 Tabel 4.1)

Kombinasi Pembebanan :

$q_2 = 1,2DL + 1,6LL = 1,2(313,5) + 1,6(479) = 1139 \text{ kg/m}$

c. Analisa Struktur Tangga



Gambar 4. 13. Distribusi Gaya pada Tangga

Panjang miring tangga = 4,12 m

• **Penyelesaian cross**

$$\mu_{BA} : \mu_{BC} : \mu_{BD} = \frac{3EI}{4,12} : \frac{3EI}{1,8} : \frac{3EI}{4,12}$$

$$= 1,67EI : 1,11EI : 0,83EI$$

$$\Sigma \mu K = 0,73EI + 1,67EI + 0,73EI = 3,13EI$$

$$\mu_{BA} = \mu_{BD} = \frac{0,73EI}{3,13EI} = 0,23$$

$$\mu_{BC} = \frac{0,17EI}{3,13EI} = 0,54$$

$$\text{Kontrol : } \mu_{BA} + \mu_{BC} + \mu_{BD} = 1 \text{ (OK)}$$

• **Momen Primer (Sendi - Sendi)**

$$MF_{BA} = MF_{BD} = -1/8 \cdot 1553,6 \cdot 3,6^2 = -2516,83 \text{ kgm}$$

$$MF_{BC} = +1/8 \cdot 1142,6 \cdot 1,8^2 = 462,75 \text{ kgm}$$

Tabel 4. 8. Perhitungan Cross pada Tangga

Titik	B		
Batang	BA	BC	BD
DF	-0,23	-0,54	-0,23
MF	-2516,83	462,75	-2516,83
MD	1051,31	2458,29	1051,31
MI	0	0	0
MD	0	0	0
MA	-1465,52	2931,04	-14652,52

Kontrol momen akhir pada tabel cross

Batang BA

$$\Sigma M_B = 0, \text{ misal } V_A \uparrow$$

$$V_A \cdot L - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 + M_{(BA)} - M_{(AB)} = 0$$

$$V_A \cdot 3,6m - \frac{1}{2} \cdot 1553,6 \text{ kg/m} \cdot (3,6m)^2 + 1465,52 \text{ kgm}$$

$$V_A = 2389,39 \text{ kg} \uparrow$$

$$\Sigma V = 0$$

$$V_A + V_B + q \cdot L = 0$$

$$2389 + V_B + 1553,6 \cdot 3,6 = 0$$

$$V_B = 3202,96 \text{ kg} \quad \uparrow$$

Batang BC

$$\Sigma M_B = 0, \text{ misal } V_C \uparrow$$

$$-V_C \cdot L + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 - M_{(BC)} = 0$$

$$-V_C \cdot 1,8\text{m} + \frac{1}{2} \cdot 1142,6 \text{ kg/m} \cdot (1,8\text{m})^2 - 2931,04 \text{ kgm} = 0$$

$$V_C = -600 \text{ kg} \quad \downarrow$$

$$\Sigma V = 0$$

$$V_C + V_B + q \cdot L = 0$$

$$-600 + V_B - 1142,6 \cdot 3,6 = 0$$

$$V_B = 2656,68 \text{ kg} \quad \uparrow$$

Batang BD

Untuk reaksi V_B pada batang BD, dapat diambil langsung dari reaksi penjumlahan antara reaksi V_B di batang BA dan BC, namun perlu diketahui bahwa reaksi V_B pada batang BD harus memiliki arah yang berlawanan dengan 2 reaksi V_B lainnya. Sehingga kontrol ΣV pada titik B = 0 (karena bukan merupakan perletakan)

Maka reaksi V_B pada batang BD dapat ditentukan sebagai berikut;

$$\Sigma V = 0$$

$$V_{B.BD} + V_{B.BA} + V_{B.BC} = 0$$

$$V_{B.BD} + 3203,96 + 2656,68 = 0$$

$$V_{B.BD} = -5860,64 \text{ kg} \quad \downarrow$$

Maka, reaksi V_D dapat ditentukan

$$V_D = Q + V_B = (1153,6 \cdot 3,36) + 5680,64 \text{ kg}$$

$$= 6834 \text{ kg} \quad \uparrow$$

Mencari M maxBatang BD

$$N_{BD} = -V_B \sin (26,57) = -5860,64 \sin (26,57) = -2621,12 \text{ kg}$$

$$D_{BD} = V_B \cos (26,57) = 5860,64 \cos (26,57) = 5241,69 \text{ kg}$$

$$D_{DB} = V_D \cos (26,57) = 6834 \cos (26,57) = 6112,25 \text{ kg}$$

Bidang N, D dan M

Lihat Kanan Potongan

$$NX1 = -2621,12 \text{ Kg}$$

$$X1 = 0$$

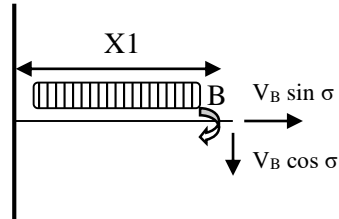
$$X1 = 3,6 \text{ m}$$

$$DX1 = 5241,69 + 1553,6 \cdot X1$$

$$DB = 5241,69$$

$$MX1 = -5241,69 \cdot X1 - 1553,6 \cdot X1 - M_{(BD)}$$

$$M_{BD} = -1465,52 \text{ (M.Max pada batang BD)}$$

Batang BA

$$N_{BA} = V_B \sin (26,57) = 3203,96 \sin (26,57) = 1433,10 \text{ kg}$$

$$D_{BA} = -V_B \cos (26,57) = -3203,96 \cos (26,57) = -2865,59 \text{ kg}$$

$$D_{AB} = V_A \cos (26,57) = 2389,39 \cos (26,57) = 2137,04 \text{ kg}$$

Bidang N, D dan M

Lihat Kanan Potongan

$$NX2 = 1433,10 \text{ Kg}$$

$$X2 = 0$$

$$X2 = 3,6 \text{ m}$$

$$DX2 = -2865,59 + 1553,6 \cdot X1$$

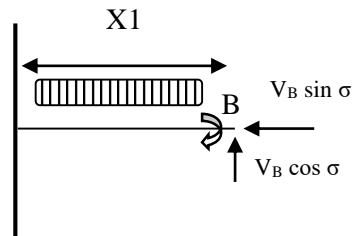
$$DB = -2865,59$$

Pada D = 0, terjadi momen maximum

$$DX2 = 0$$

$$-2865,59 + 1553,6 \cdot X1 = 0$$

$$X1 = 1,84 \text{ m (dari titik B)}$$



$$\begin{aligned}MX2 &= -2865,59 \cdot (1,84) + \frac{1}{2} \cdot 1553,6 (1,84) - 1465,52 \\MX2 &= -4108,28 \text{ kgm (Momen Max Tangga)}\end{aligned}$$

Analisa struktur tangga menggunakan program bantu SAP 2000 dan dihasilkan gaya dalam sebagai berikut :

Tabel 4. 9. Momen Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Pelat	M11	M22
	kgm	kgm
Tangga	2008,18	1060,83
Bordes	3485,76	1721,59

d. Penulangan Pelat Tangga

- Penulangan arah X (tulangan utama)

$$dx = 185 - 20 - (16/2) = 172 \text{ mm}$$

$$dy = 185 - 20 - 16 - (16/2) = 156 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{4108,28 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 158,5^2} = 1,74$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] \\&= \frac{1}{13,11} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,74}{390}} \right] = 0,0046\end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0046$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx = 0,0046 \times 1000 \times 172 = 789,30 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{1998,4}{78,54} = 9,9 \approx 10$$

$$s_{max} = 3 \times t_{pelat} = 3 \times 185 = 555 \text{ mm}$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{10} = 100 < s_{max}$$

Jadi digunakan tulangan utama D10-100.

- Penulangan arah Y (tulangan bagi)

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1060,83 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 158,5^2} = 0,45$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{13,11} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,45}{390}} \right] = 0,0012 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0038$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx = 0,0038 \times 1000 \times 156 = 591,61 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{591,61}{78,54} = 7,3 \approx 8$$

$$s_{max} = 3 \times t_{pelat} = 3 \times 185 = 555 \text{ mm}$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{8} = 125 < s_{max}$$

Jadi digunakan tulangan utama D10-150.

e. Penulangan Pelat Bordes

- Penulangan arah X (tulangan utama)

$$dx = 120 - 20 - (16/2) = 92 \text{ mm}$$

$$dy = 120 - 20 - 16 - (16/2) = 76 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{3485,76 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 92^2} = 1,47$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{13,11} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,47}{390}} \right] = 0,0039 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0039$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx = 0,0039 \times 1000 \times 92 = 666,48 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{666,48}{78,54} = 8,5 \approx 9$$

$$s_{max} = 3 \times t_{pelat} = 3 \times 185 = 555 \text{ mm}$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{9} = 111 \approx 100 < s_{max}$$

Jadi digunakan tulangan utama D10-100.

- Penulangan arah Y (tulangan bagi)

$$dx = 120 - 20 - (16/2) = 92 \text{ mm}$$

$$dy = 120 - 20 - 16 - (16/2) = 76 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1721,59 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 92^2} = 0,73$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{13,11} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 10,73}{390}} \right] = 0,0019$$

$$\rho_{pakai} = 0,0038$$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times dx = 0,0038 \times 1000 \times 76 = 666,48 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{666,48}{78,54} = 3,6 \approx 4$$

$$s_{max} = 3 \times t_{pelat} = 3 \times 185 = 555 \text{ mm}$$

$$s = \frac{1000}{n} = \frac{1000}{4} = 250 < s_{max}$$

Jadi digunakan tulangan utama D10-200.

4.2.4.3. Perencanaan Balok Bordes

Balok bordes direncanakan sebagai elemen pracetak.
Berikut data perencanaan balok bordes :

- Mutu beton f'_c = 35 Mpa
- Mutu baja f_y = 390 Mpa
- Bentang = 7,2 m
- Dimensi sesudah komposit = 25 x 40 cm
- Dimensi sebelum komposit = 25 x 28 cm
- Diameter tulangan lentur = 16 mm
- Diameter tulangan sengkang = 10 mm

a. Pembebanan

1. Sebelum Komposit

Beban mati

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri balok} &= 0,25 \times 0,28 \times 2400 = 150 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat dinding} &= 4,2 \times 250 = 1050 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat pelat bordes} &= 313,5 \text{ kg/m} \\
 qD &= 1513,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$Q_u = 1,2 qD = 1,2 (1513,5) = 1816,2 \text{ kg/m}$$

2. Sesudah Komposit

Beban mati

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri balok} &= 0,25 \times 0,40 \times 2400 = 240 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat dinding} &= 4,2 \times 250 = 1050 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat pelat bordes} &= 313,5 \text{ kg/m} \\
 qD &= 1603,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$Q_u = 1,2 qD = 1,2 (1603,5) = 1924,2 \text{ kg/m}$$

b. Analisis Gaya Dalam

1. Sebelum Komposit

$$\begin{aligned}
 M_L &= \frac{1}{8} \times q \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 1816,2 \times 3,6^2 \\
 &= 2942,24 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

2. Sesudah Komposit

$$\begin{aligned}
 M_T &= \frac{1}{16} \times q \times L^2 \\
 &= \frac{1}{16} \times 1924,2 \times 3,6^2 \\
 &= 1558,76 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_L &= \frac{1}{10} \times q \times L^2 \\
 &= \frac{1}{12} \times 1924,2 \times 3,6^2 \\
 &= 2494,02 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$V_u = \frac{1}{2} \times q \times L$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \times 1924,2 \times 3,6 \\
 &= 3463,56 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Tulangan Lentur Balok Bordes

Untuk mutu beton $f'c = 35$ MPa berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,80 \geq 0,65$$

Direncanakan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \rho_b = \frac{0,85 \times 0,80 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036 \text{ atau } \rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} = 0,0038$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar, yaitu 0,0038.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

1. Sebelum Komposit

$$d = 280 - 4 - 10 - \frac{1}{2} 16 = 222 \text{ mm}$$

- Lapangan

$$M_L = 2942,24 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{ML}{\phi b d^2} = \frac{2942,24 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 222^2} = 2,98$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 2,98}{390}} \right] = 0,0081
 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0081$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0081 \times 250 \times 222 = 448,55 \text{ mm}^2$$

$$As_{tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,6 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{448,55}{201,6} = 2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D16.

2. Sesudah Komposit

$$d = 400 - 4 - 10 - \frac{1}{2} 16 = 342 \text{ mm}$$

- Tumpuan

$$M_T = 1558,76 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{MT}{\phi b d^2} = \frac{1558,76 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 342^2} = 0,67$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,67}{390}} \right] = 0,0017 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0038$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0038 \times 250 \times 342 = 324,25 \text{ mm}^2$$

$$As_{tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,6 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{324,25}{201,6} = 1,6 \approx 2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D16

- Lapangan

$$M_L = 2942,02 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{ML}{\phi b d^2} = \frac{2942,02 \times 10^4}{0,8 \times 1000 \times 342^2} = 1,26$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,26}{390}} \right] = 0,0033 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0038$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0038 \times 250 \times 342 = 324,25 \text{ mm}^2$$

$$As_{tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,6 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{324,25}{201,6} = 1,6 \approx 2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D16.

d. Tulangan Geser Balok Bordes

$$V_u = 3463,56 \text{ kg} = 34635,6 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times bw \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 250 \times 342 = 84304,14 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times V_c = 0,75 \times 84304,14 = 63228,10 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 63228,10 = 31614,06 \text{ N}$$

Dari kondisi tersebut, dimana $0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$, maka balok anak tersebut membutuhkan tulangan geser minimum. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 jarak maksimum antar tulangan geser adalah sebagai berikut :

- $s_{\max} < d/4 = 342/4 = 85,5 \text{ mm}$
- $s_{\max} < 6D = 6 \times 16 = 96 \text{ mm}$
- $s_{\max} < 150 \text{ mm}$

Digunakan tulangan geser $\phi 10$ -100 mm.

4.2.4.4. Analisa Kekuatan Tulangan Angkat

a. Tangga

Elemen tangga pracetak diangkat dengan diasumsikan sebagai pelat. Saat pengangkatan, umur beton adalah 3 hari.

$$f_{c'} = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 46\% f_c = 46\% \times 35 = 16,1 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \sqrt{16,1} = 2,81 \text{ Mpa}$$

Dimana,

f_c' = kuat tekan beton

$$\begin{aligned} M_x &= 0,0107 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 432 \times 1,45^2 \times 5,1 \\ &= 49,5648 \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\ &= 74,3473 \text{ kgm} = 743473 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x' &= \frac{P \times y_c}{\tan \theta} = \frac{w \times a \times b \times y_c}{\tan \theta} \\ &= \frac{432 \times 1,45 \times 5,1 \times 0,075}{1/0,85} \\ &= 2545,73 \text{ kgm} = 25457300 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_x \text{ tot} = 743473 + 25457300 = 26200737 \text{ Nmm}$$

$$Z_x = \frac{1}{6} \times \frac{b}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times \frac{510}{2} \times 15^2 = 9562,5 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{Z_x} = \frac{26200737}{9562,5} = 0,27 \text{ Mpa} < f_r$$

$$\begin{aligned} M_y &= 0,0107 \times w \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 432 \times 1,45 \times 5,1^2 \\ &= 174,3315 \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\ &= 261,4973 \text{ kgm} = 2614973 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y' &= \frac{P \times y_c}{\tan \theta} = \frac{w \times a \times b \times y_c}{\tan \theta} \\ &= \frac{432 \times 1,45 \times 5,1 \times 0,075}{1/3} \\ &= 898,493 \text{ kgm} = 8984930 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_y \text{ tot} = 2614973 + 8984930 = 11299903 \text{ Nmm}$$

$$Z_y = \frac{1}{6} \times \frac{a}{2} \times t^2 = \frac{1}{6} \times \frac{145}{2} \times 15^2 = 2718,75 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{Z_y} = \frac{11299903}{2718,75} = 0,43 \text{ Mpa} < f_r$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapat tegangan yang terjadi akibat *stripping* kurang dari modulus hancur beton. Sehingga beton pracetak umur 3 hari mampu menahan tegangan akibat *stripping*.

Beban ultimate yang dari pengangkatan pelat pracetak adalah

$$\begin{aligned}
 \text{BS precast} &= 1,45 \times 5,1 \times 0,15 \times 2400 &= 2662,2 \text{ kg} \\
 \text{Stud + tulangan} &= 10\% \text{ BS precast} &= 266,22 \text{ kg} \\
 \text{Pekerja} &= 1,6 \times 250 &= 400 \text{ kg} \\
 qU &= 3328,42 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan 4 titik angkat, maka setiap titik angkat menerima beban sebesar 832,105 kg. Direncanakan tulangan angkat menggunakan tulangan polos Ø10 mm ($f_y=240$ Mpa).

$$\begin{aligned}
 \sigma_{bj} &= f_y / 1.5 = 240 / 1,5 = 160 \text{ Mpa} \\
 A_s &= 8321,05 \text{ N} / 160 \text{ Mpa} = 52 \text{ mm}^2 \\
 A_{tul} &= 0,25 \times \pi \times 10 = 78,54 \text{ mm}^2 > A_s \\
 N_n = N_b &= 8321,05 \text{ N}
 \end{aligned}$$

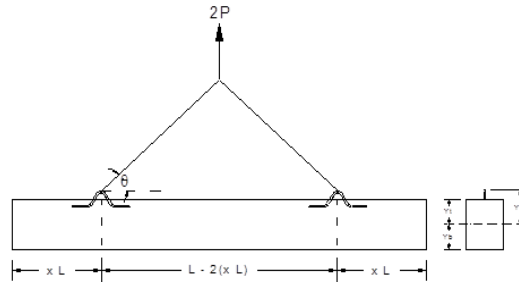
$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{N_n}{k_c \sqrt{f'rc}}\right)^2} = h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{8321,05}{10\sqrt{35}}\right)^2} = 27,05 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut maka tulangan angkat (angkur) dipasang sedalam 30 mm dari permukaan tangga.

b. Balok Bordes

Balok anak pracetak diproduksi di pabrik. Diperlukan pengangkatan dari pabrik ke *flatbed truck* dan dari *flatbed truck* ke *stock yard*. Balok anak diangkat saat beton berumur 3 hari. Direncanakan beton berumur 3 hari tersebut mampu menahan momen yang terjadi selama proses pengangkatan.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= 35 \text{ Mpa} \\
 f_{ci} &= 46\% f_c = 46\% \times 35 = 16,1 \text{ Mpa} \\
 f_r &= 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \sqrt{16,1} = 2,81 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 14. Detail Pengangkatan Balok Bordes Pracetak

$$Y_t = Y_b = \frac{28}{2} = 14 \text{ cm}$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 19 \text{ cm}$$

$$Z = \frac{1}{16} \times b \times h^2 = \frac{1}{12} \times 250 \times 280^2 = 3266667 \text{ mm}^3$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times Y_c}{L \times \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4 \times Y_c}{L \times \tan \theta} \right)} \right)}$$

$$= \frac{1 + \frac{4 \times 19}{360 \times \tan 45}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{14}{14} \left(1 + \frac{4 \times 19}{360 \times \tan 45} \right)} \right)}$$

$$= 0,24$$

$$LX = 360 \times 0,24 = 86,4 \text{ cm} = 87,5 \text{ cm}$$

Beban yang bekerja pada balok bordes saat pengangkatan adalah berat sendiri.

$$W = 0,25 \times 0,28 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}$$

Momen yang terjadi selama pengangkatan :

$$M_T = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$= \frac{168 \times 0,24^2 \times 3,6^2}{2}$$

$$= 62,7057 \text{ kg/m} \times 1,5 \text{ (faktor kejut)}$$

$$= 94,0585 \text{ kg/m}$$

$$\sigma_T = \frac{M_T}{Z} = \frac{940585}{3266667} = 0,29 \text{ Mpa} < f_r$$

$$\begin{aligned} M_L &= \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4 \times Yc}{L \times tg \theta} \right) \\ &= \frac{168 \times 3,6^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,24 + \frac{4 \times 19}{3,6 \times tg 45} \right) \\ &= 68,3424 \text{ kg/m } 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\ &= 102,5136 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\sigma_L = \frac{M_L}{Z} = \frac{1025136}{3266667} = 0,31 \text{ Mpa} < f_r$$

Beban ultimate dari pengangkatan balok pracetak adalah:

$$\begin{aligned} \text{BS precast} &= 0,25 \times 0,28 \times 3,2 \times 2400 &= 537,6 \text{ kg} \\ \text{Stud + tulangan} &= 10\% \text{ BS precast} &= 53,76 \text{ kg} \\ \text{Pekerja} &= 1,6 \times 250 &= 400 \text{ kg} + \\ &&qU = 991,36 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan 2 titik angkat, maka setiap titik angkat menerima beban sebesar 495,68 kg. Direncanakan tulangan angkat menggunakan tulangan polos Ø10 mm ($f_y = 240 \text{ Mpa}$).

$$\begin{aligned} \sigma_{bj} &= f_y / 1,5 = 240 / 1,5 = 160 \text{ Mpa} \\ A_s &= 4956,8 \text{ N} / 160 \text{ Mpa} = 30,98 \text{ mm}^2 \\ A_{tul} &= 0,25 \times \pi \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2 > A_s \end{aligned}$$

Gaya tarik nominal yang bekerja pada angkur harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Kekuatan baja angkur (N_{sa})

$$N_n \leq N_{sa}$$
 - Kekuatan pecah beton dari angkur tunggal terhadap gaya tarik (N_b)

$$N_n \leq N_b$$
- $$N_n = N_b = 4956,8 \text{ N}$$

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{Nn}{kc\sqrt{f'c}}\right)^2} = h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{4956,8}{10\sqrt{35}}\right)^2} = 19,15 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut maka tulangan angkat (angkur) dipasang sedalam 20 mm dari permukaan balok bordes pracetak.

4.3. Permodelan Struktur

4.3.1. Umum

Dalam perencanaan desain gedung bertingkat perlu diperhitungkan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa yang akan diterima gedung tersebut. Pembebanan gravitasi pada perencanaan desain ini mengacu pada SNI 1727:2013 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726:2012.

4.3.2. Data Perencanaan

Data-data perencanaan gedung Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya adalah sebagai berikut :

- Mutu beton ($f'c$) : 35 Mpa
- Mutu baja tulangan ulir (f_y) : 390 Mpa
- Mutu baja tulangan polos (f_y) : 240 Mpa
- Fungsi bangunan : rumah sakit
- Lokasi : Surabaya
- Jumlah tingkat : 8 lantai
- Tinggi bangunan lantai 1-7 : 4,2 meter
- Tinggi bangunan lantai 8 : 4,6 meter
- Dimensi balok induk : 40 x 60 cm
- Dimensi balok anak : 25 x 40 cm
- Dimensi kolom : 60 x 60 cm
- Zona Gempa :

4.3.3. Pembebanan Struktur

Pembebanan gravitasi struktur pada sistem rangka pemikul momen khusus hanya diterima oleh rangka. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur.

- Beban Mati Lantai 2-8

Plafond	= 7,1 kg/m ²
Spesi	= 20 kg/m ²
Keramik	= 20,5 kg/m ²
ME	= 19 kg/m ²
AC + pipa	<u>= 25 kg/m²</u>
DL	= 91,6 kg/m ²
- Beban Mati Lantai Atap

Plafond	= 7,1 kg/m ²
Spesi	= 20 kg/m ²
Aspal	= 14 kg/m ²
AC+pipa	<u>= 25 kg/m²</u>
DL	= 66,1 kg/m ²
- Beban Hidup

Ruang operasi	= 287 kg/m ²
Laboratorium	= 287 kg/m ²
Ruang pasien	= 192 kg/m ²
Koridor	= 383 kg/m ²
Atap	= 96 kg/m ²

4.3.4. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1727 : 2013 pasal

2.3.2:

- $U = 1,4DL$
- $U = 1,2DL + 1,6L + 0,5 Lr$
- $U = 1,2DL + 1,6 Lr + LL$
- $U = 1,2DL + 1,6 Lr + 0,5W$
- $U = 1,2DL + 1,0W + L + 0,5 Lr$
- $U = 1,2DL + 1,0Ex + LL$
- $U = 1,2DL + 1,0Ey + LL$

- $U = 0,9DL + 1,0W$
- $U = 0,9DL + 1,0Ex$
- $U = 0,9DL + 1,0Ey$

Dimana,

DL = beban mati

LL = beban hidup

Ex = beban gempa arah x

Ey = beban gempa arah y

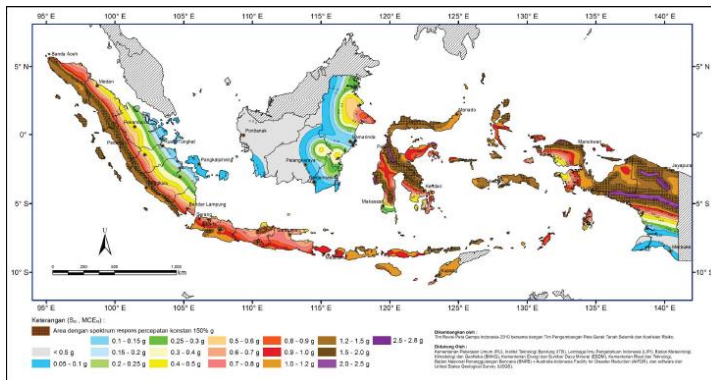
W = beban angin

Lr = beban hidup atap

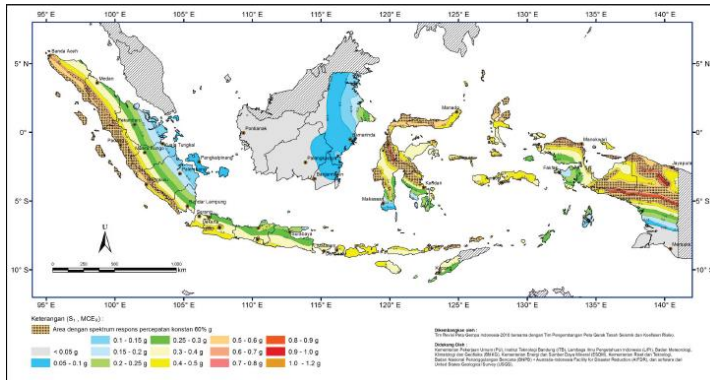
4.3.5. Analisa Beban Gempa

4.3.5.1. Percepatan Respons Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 6.1.1 parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun. Penentuan nilai faktor S_s dan S_1 berdasarkan SNI 1726:2012 gambar 9 dan 10 seperti berikut.



Gambar 4. 15. Gempa Maksimum S_s



Gambar 4. 16. Gempa Maksimum S1

Lokasi bangunan yang berada di Surabaya maka dapat ditentukan nilai $S_s = 0,6g$ dan $S_1 = 0,25g$.

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 6.2 penentuan respons spectral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismic pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan percepatan pada getaran perioda 1 detik (F_v). Nilai F_a didapat berdasarkan SNI 1726:2017 Tabel 4 dan F_v pada tabel 5.

Tabel 4. 10. Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^a				

Tabel 4. 11. Koefisien Situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Dari data tersebut didapatkan nilai :

$$S_s = 0,6 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,25 \text{ g}$$

$$F_a = 1,7 - \frac{0,6-0,5}{0,75-0,6} (1,7 - 1,2) = 1,5$$

$$F_v = 3,2 - \frac{0,25-0,2}{0,3-0,25} (3,2 - 2,8) = 3$$

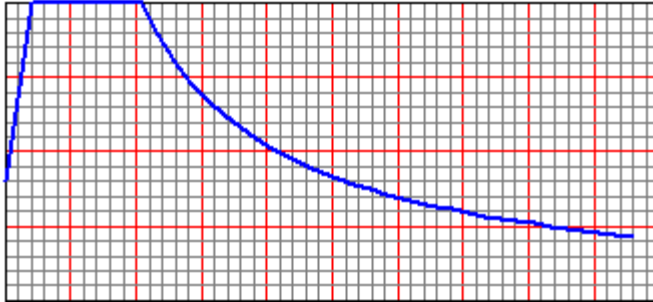
$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s && (\text{SNI 1726:2012 persamaan 6.2-1}) \\ &= 1,5 \times 0,6 \\ &= 0,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 && (\text{SNI 1726:2012 persamaan 6.2-2}) \\ &= 3 \times 0,25 \\ &= 0,75 \end{aligned}$$

4.3.5.2. Parameter Percepatan Respons Spektral

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} && (\text{SNI 1726:2012 persamaan 6.2-3}) \\ &= \frac{2}{3} \times 0,9 \\ &= 0,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} S_{M1} && (\text{SNI 1726:2012 persamaan 6.2-4}) \\ &= \frac{2}{3} \times 0,75 \\ &= 0,5 \end{aligned}$$



Grafik 4. 1. Percepatan Respons Spektral

Berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 1, rumah sakit dan fasilitas kesehatan yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat dikelompokkan dalam kategori risiko IV. Dengan nilai $S_{DS} = 0,6$ dan $S_{D1} = 0,5$, menurut SNI 1726:2012 tabel 6 dan 7 didapatkan Surabaya merupakan kategori D.

Tabel 4. 12. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 4. 13. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Karena bangunan rumah sakit ini termasuk kategori D, maka dipilih kriteria desain Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

4.3.6. Pembebanan Gempa Dinamis

Perhitungan beban gempa pada struktur gedung Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 1726:2012. Analisisnya dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan.

4.3.6.1. Arah Pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang baik dalam arah x maupun y secara bolak-balik dan berkala. Arah pembebanan gempa direncanakan efektif 100% pada arah utama dan 30% pada arah tegak lurus arah utama dan terjadi bersamaan.

- Gempa respon spektrum X :
100% efektivitas untuk arah X dan 30% efektivitas arah Y
- Gempa respon spektrum Y :
100% efektivitas untuk arah Y dan 30% efektivitas arah X

4.3.6.2. Faktor Reduksi Gempa (R)

Bangunan gedung ini direncanakan dengan sistem rangka pemikul momen khusus. Berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 9 didapatkan nilai pembesaran defleksi (C_d) = 5,5 , nilai koefisien modifikasi respon (R) = 8 , dan nilai faktor kuat lebih sistem (Ω) = 3.

4.3.6.3. Faktor Keutamaan (I_e)

Menurut SNI 1726:2012 pasal 4.1.2 pengaruh beban gempa rencana terhadap bangunan tersebut dikalikan faktor keutamaan (I_e). Bangunan rumah sakit dikelompokkan dalam kategori resiko IV. Berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 2, didapatkan nilai I_e = 1,50.

4.3.7. Kontrol Desain

Setelah dilakukan permodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP 2000, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut.

Dari hasil analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan perencanaan penulangan struktur.

4.3.7.1. Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.1 hasil analisis didapatkan partisipasi massa ragam terkomposisi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah.

Output Case	Step Type	Step Num	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.516597	0.232	0.006
MODAL	Mode	2	1.51006	0.247	0.159
MODAL	Mode	3	1.502781	0.396	0.176
MODAL	Mode	4	1.467828	0.569	0.184
MODAL	Mode	5	1.449041	0.69	0.184
MODAL	Mode	6	1.439498	0.699	0.431
MODAL	Mode	7	1.423616	0.708	0.57
MODAL	Mode	8	1.388743	0.708	0.685
MODAL	Mode	9	1.356994	0.789	0.685
MODAL	Mode	10	1.327814	0.789	0.7
MODAL	Mode	11	1.299955	0.79	0.716
MODAL	Mode	12	1.289034	0.8	0.723
MODAL	Mode	13	1.135535	0.801	0.803
MODAL	Mode	14	1.105916	0.812	0.812
MODAL	Mode	15	0.685311	0.812	0.812
MODAL	Mode	16	0.485772	0.812	0.812
MODAL	Mode	17	0.482641	0.888	0.813
MODAL	Mode	18	0.457891	0.889	0.895
MODAL	Mode	19	0.432154	0.913	0.895
MODAL	Mode	20	0.360988	0.913	0.914
MODAL	Mode	21	0.271045	0.954	0.915
MODAL	Mode	22	0.256356	0.956	0.956
MODAL	Mode	23	0.153001	0.984	0.969
MODAL	Mode	24	0.147051	0.997	0.997

Dari tabel di atas didapat partisipasi massa arah X 91,3% pada moda ke 19 dan partisipasi massa arah Y 91,4% pada moda ke

20. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan memenuhi syarat partisipasi massa ragam paling sedikit 90%.

4.3.7.2. Kontrol Waktu Getar Fundamental

Untuk mendapatkan struktur bangunan yang kaku, nilai waktu getar alami (T) dari struktur harus dibatasi sesuai SNI 1726:2012. Berdasarkan SNI 1726:2012 persamaan 26 didapatkan perioda minimum sebagai berikut :

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

Dimana,

T_a = perioda fundamental struktur (sekon)

C_t dan x = koefisien berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 15

h_n = ketinggian struktur (meter)

Tabel 4. 14. Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75


$$\begin{aligned}
 T &= C_t \times h_n^x \\
 &= 0,0466 \times 34^{0,9} \\
 &= 1,1136 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Untuk perioda maksimum nilai perioda tersebut dikali faktor C_u .

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Dengan $S_{D1} = 0,5$ maka didapat koefisien $C_u = 1,4$

$$\begin{aligned}
 T &= T_a \times 1,4 \\
 &= 1,1136 \times 1,4 \\
 &= 1,5590 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

 Deformed Shape (MODAL) - Mode 1 - T = 1.43229; f = 0.69818

Gambar 4. 17. Periode Bangunan

Tabel 4. 15. Periode Bangunan

Output Case	Step Type	Step Num	Period
Text	Text	Unitless	Sec
MODAL	Mode	1	1.432295
MODAL	Mode	2	1.430468
MODAL	Mode	3	1.423084
MODAL	Mode	4	1.400337
MODAL	Mode	5	1.392846
MODAL	Mode	6	1.387286
MODAL	Mode	7	1.376714
MODAL	Mode	8	1.347417
MODAL	Mode	9	1.28889
MODAL	Mode	10	1.269512
MODAL	Mode	11	1.236914
MODAL	Mode	12	1.223804

MODAL	Mode	13	1.064737
MODAL	Mode	14	1.051178
MODAL	Mode	15	0.683669
MODAL	Mode	16	0.505365
MODAL	Mode	17	0.463689
MODAL	Mode	18	0.451887
MODAL	Mode	19	0.41704
MODAL	Mode	20	0.378466
MODAL	Mode	21	0.257067
MODAL	Mode	22	0.253465
MODAL	Mode	23	0.142222
MODAL	Mode	24	0.141473

Periode terbesar yang didapat dari analisis SAP = 1,432 detik.
 Periode tersebut memenuhi batas atas periode yaitu 1,5590 detik
 dan batas bawah 1,1136 detik.

4.3.7.3. Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum (*Base Shear*)

Nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respon statik. Nilai gaya geser statik dihitung berdasarkan SNI 1726:2012 persamaan 21 sebagai berikut:

$$V = C_s \times W$$

Dimana,

V = gaya geser seismik

C_s = koefisien respon seismik

W = berat seismik

Koefisien respon seismik diperoleh dari perhitungan berikut :

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{S_{DS}}{R/I_e} && (\text{SNI 1726:2012 pers. 22}) \\
 &= \frac{0,6}{8/1,5} \\
 &= 0,1125
 \end{aligned}$$

Nilai C_s tidak lebih dari :

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{S_{D1}}{T(R/I_e)} && (\text{SNI 1726:2012 pers. 23}) \\
 &= \frac{0,5}{1,1136(8/1,5)} \\
 &= 0,0842
 \end{aligned}$$

Nilai C_s tidak kurang dari :

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{0,5S_1}{R/I_e} && (\text{SNI 1726:2012 pers. 24}) \\
 &= \frac{0,5 \times 0,25}{8/1,5} \\
 &= 0,0234
 \end{aligned}$$

Maka diambil nilai $C_s = 0,0842$.

Dari hasil analisis, diperoleh berat total struktur gedung Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya sebagai berikut :

Tabel 4. 16. Gaya Akibat Kombinasi Beban 1D+1L

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
1D + 1L	1.287E-07	3.781E-08	41722148.4

$$\begin{aligned}
 V_{statik} &= C_s \times W \\
 &= 0,0842 \times 41722148,4 \\
 &= 3512538 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis menggunakan program bantu SAP 2000 didapatkan nilai gaya geser dasar (base shear) sebagai berikut :

Tabel 4. 17. Gaya Geser Dasar

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY
Text	Kgf	Kgf
RS-X	3163337	129246
RS-Y	129336	3020969

Kontrol :

- Gempa arah X
 $V_{\text{dinamik}} \geq 85\% V_{\text{statik}}$
 $3163337 \geq 85\% 3512538$
 $3163337 \geq 2985657$ (OK)
- Gempa arah Y
 $V_{\text{dinamik}} \geq 85\% V_{\text{statik}}$
 $3020969 \geq 85\% 3512538$
 $3020969 \geq 2985657$ (OK)

4.3.7.4. Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Simpangan antar tingkat adalah selisih pergoyangan pada suatu tingkat dengan tingkat dibawahnya. Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Simpangan yang terjadi dari hasil dinamis harus lebih kecil dari simpangan hasil analisis. Berikut perhitungan simpangan secara analisis :

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 1 :

$$\Delta_1 = \frac{C_d \times \delta_{e1}}{I}$$

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 1 :

$$\Delta_2 = \delta_{e2} - \delta_{e1} \times \frac{C_d}{I}$$

Dimana:

δ_{e1} = simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 1

δ_{e2} = simpangan yang diitung akibat beban gempa tingkat 2

C_d = faktor pembesaran defleksi

I = faktor keutamaan gedung

Berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 9 didapatkan nilai $C_d = 5,5$ dan dari SNI 1726:2012 tabel 1 didapatkan nilai $I = 1,5$. Untuk perhitungan simpangan yang diijinkan (Δ_a) disesuaikan dengan SNI 1726:2012 tabel 16 dimana bangunan termasuk semua struktur lainnya dengan kategori resiko IV, didapatkan :

$$\Delta_a = 0,010 \times h_{sx}$$

Dimana:

Δ_a = simpangan ijin antar tingkat

h_{sx} = tinggi tingkat dibawah tingkat x

Dari analisis akibat beban gempa dengan program bantu SAP 2000, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut :

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X		Gempa Arah Y	
	Zi	Simpangan		Simpangan	
	(m)	X (mm)	Y(mm)	X (mm) -	Y(mm)
Atap	34	52.86	7.96	12.40	45.07
7	29.4	52.46	9.54	12.66	50.31
6	25.2	49.49	9.02	11.65	47.23
5	21	44.36	8.12	10.20	42.10
4	16.8	37.10	6.82	8.38	35.05
3	12.6	28.04	5.18	6.25	26.40
2	8.4	17.66	3.29	3.91	16.64
1	4.2	6.87	1.31	1.56	6.60
0	0	0	0	0	0

Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X				Ket
	Zi	Simpangan Arah X				
	(m)	δ_i (mm)	δ_i (mm)	Δ (mm)	Δa (mm)	
Atap	34	35.44	2.7	9.90	35.38	OK
7	29.4	32.74	2.69	9.86	32.31	OK
6	25.2	30.05	3.69	13.53	32.31	OK
5	21	26.36	4.63	16.98	32.31	OK
4	16.8	21.73	5.37	19.69	32.31	OK
3	12.6	16.36	5.93	21.74	32.31	OK
2	8.4	10.43	6.11	22.40	32.31	OK
1	4.2	4.32	4.32	15.84	32.31	OK
0	0	0	0	0	0	

Keterangan :

δ_{ei} = Simpangan terbesar yang terjadi setiap lantai

δ_i = Selisih simpangan antar lantai

Δ = $\delta_i \times (C_d/I_e)$

Δa = Simpangan ijin antar tingkat

Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X				Ket
	Zi	Simpangan Arah Y				
	(m)	δ_{ei} (mm)	δ_i (mm)	Δ (mm)	Δa (mm)	
Atap	34	9.05	0.54	1.98	35.38	OK
7	29.4	8.51	0.8	2.93	32.31	OK
6	25.2	7.71	1	3.67	32.31	OK
5	21	6.71	1.2	4.40	32.31	OK
4	16.8	5.51	1.37	5.02	32.31	OK
3	12.6	4.14	1.5	5.50	32.31	OK
2	8.4	2.64	1.56	5.72	32.31	OK
1	4.2	1.08	1.08	3.96	32.31	OK
0	0	0	0	0	0	

Keterangan :

 δ_{ei} = Simpangan terbesar yang terjadi setiap lantai δ_i = Selisih simpangan antar lantai Δ = $\delta_i \times (C_d/I_e)$ Δa = Simpangan ijin antar tingkat

Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah Y				Ket
	Zi	Simpangan Arah X				
	(m)	δ_{ei} (mm)	δ_i (mm)	Δ (mm)	Δa (mm)	
Atap	34	3.01	0.47	1.72	35.38	OK
7	29.4	2.54	0.15	0.55	32.31	OK
6	25.2	2.39	0.23	0.84	32.31	OK
5	21	2.16	0.34	1.25	32.31	OK
4	16.8	1.82	0.41	1.50	32.31	OK
3	12.6	1.41	0.5	1.83	32.31	OK
2	8.4	0.91	0.54	1.98	32.31	OK
1	4.2	0.37	0.37	1.36	32.31	OK
0	0	0	0	0	0	

Keterangan :

 δ_{ei} = Simpangan terbesar yang terjadi setiap lantai δ_i = Selisih simpangan antar lantai Δ = $\delta_i \times (C_d/I_e)$ Δa = Simpangan ijin antar tingkat

Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah Y				Ket
	Zi	Simpangan Arah Y				
	(m)	δ_{ei} (mm)	δ_i (mm)	Δ (mm)	Δa (mm)	
Atap	34	13.05	0.72	2.64	35.38	OK
7	29.4	12.33	1.02	3.74	32.31	OK
6	25.2	11.31	1.38	5.06	32.31	OK
5	21	9.93	1.71	6.27	32.31	OK
4	16.8	8.22	2.01	7.37	32.31	OK
3	12.6	6.21	2.23	8.18	32.31	OK
2	8.4	3.98	2.34	8.58	32.31	OK
1	4.2	1.64	1.64	6.01	32.31	OK
0	0	0	0	0	0	

Keterangan :

 δ_{ei} = Simpangan terbesar yang terjadi setiap lantai δ_i = Selisih simpangan antar lantai Δ = $\delta_i \times (C_d/I_e)$ Δa = Simpangan ijin antar tingkat

4.3.7.5. Kontrol Pemisahan Struktur

Semua bagian struktur harus didesain dan dibangun untuk bekerja satu kesatuan yang terintegrasi dalam menahan gaya-gaya gempa kecuali jika dipisahkan secara struktural dengan jarak yang cukup memadai untuk menghindari benturan yang merusak. Pemisahan harus dapat mengakomodasi terjadinya perpindahan respons inelastik maksimum (δ_M). Perpindahan elastik maksimum dihitung berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.12.3 sebagai berikut :

$$\delta_M = \frac{C_d \times \delta_{max}}{I_e}$$

Dimana :

δ_{max} : perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis

Struktur-struktur bangunan yang bersebelahan harus dipisahkan minimal sebesar δ_{MT} :

$$\delta_{MT} = \sqrt{\delta_{M1}^2 + \delta_{M2}^2}$$

δ_{M1} dan δ_{M2} adalah perpindahan respons inelastik maksimum pada struktur-struktur bangunan yang bersebelahan di tepi-tepi yang berdekatan.

Berikut perhitungan pemisahan struktur antara gedung A dan B pada Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya:

$$\begin{aligned}\delta_{M1} &= \frac{C_d \times \delta_{max1}}{I_e} \\ &= \frac{5,5 \times 38,16}{1,5} \\ &= 139,92 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_{M2} &= \frac{C_d \times \delta_{max2}}{I_e} \\ &= \frac{5,5 \times 45,47}{1,5} \\ &= 166,72 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\delta_{MT} = \sqrt{\delta_{M1}^2 + \delta_{M2}^2}$$

$$= \sqrt{139,92^2 + 166,72^2}$$

$$= 217,65 \text{ mm}$$

Pada perencanaan dilakukan pemisahan antara gedung A dan gedung B sejarak 250 mm. Jadi pemisahan jarak tersebut memnuhi SNI 1726:2012 pasal 7.12.3.

Tabel 4. 18. Dilatasi Bangunan

Pemisahan Gedung	$\delta_{\max 1}$	$\delta_{\max 2}$	δ_{MT}	dilatasi	Ket
	mm	mm	mm	mm	
A - B	38.16	45.47	217.65	250	OK
B - C	45.47	45.12	234.88	250	OK
C - D	45.12	50.31	247.78	250	OK
D - E	43.21	32.30	197.81	250	OK

4.4.Perencanaan Struktur Utama

Struktur utama merupakan komponen utama bangunan dimana kekakuannya memengaruhi perilaku gedung tersebut. Struktur utama memiliki fungsi untuk menahan beban gravitasi dan beban lateral. Komponen utama terdiri dari balok induk dan kolom.

4.4.5. Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder kemudian meneruskan beban tersebut ke kolom. Balok induk pada bangunan Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya ini direncanakan sebagai balok pracetak.

4.4.5.1. Data Perencanaan

- Dimensi balok anak : $40 \times 60 \text{ cm}$
- Bentang : 7,2 m
- Mutu beton (f'_c) : 35 Mpa
- Mutu baja (f_y) : 390 Mpa
- Diameter tulangan lentur : D19

- Diameter tulangan sengkang: Ø10

Komponen struktur lentur didefinisikan sebagai komponen struktur dimana gaya aksial tekan terfaktor yang bekerja pada penampangnya tidak melebihi $0,1A_g f'_c$, dengan A_g adalah luas penampang komponen struktur ($A_g = 240000 \text{ mm}^2$).

$$P_u < 0,1A_g f'_c$$

$$948817,6 \text{ N} < 0,1 \times 240000 \times 350$$

$$948817,6 \text{ N} < 8400000 \text{ N}$$

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi untuk komponen lentur SRPMK antara lain : (Iswandi Imran, 2014)

- Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.

$$l_n > 4d$$

$$6600 > 4 \times 540,5$$

$$6600 \text{ mm} > 2702,5 \text{ mm (OK)}$$

- Perbandingan lebar terhadap tinggi komponen struktur tidak boleh kurang dari 0,3. Persyaratan ini terkait dengan stabilitas penampang komponen struktur.

$$b/h > 0,3$$

$$40/60 > 0,3$$

$$0,67 > 0,3 \text{ (OK)}$$

- Lebar penampang harus memenuhi :

$$- \geq 250 \text{ mm}$$

$$- \leq \text{lebar kolom ditambah jarak pada tiap sisi kolom yang tidak melebihi tiga per empat tinggi komponen struktur lentur. Persyaratan ini terkait dengan transfer momen akibat gempa dari elemen struktur balok ke kolom.}$$

$$250 \text{ mm} \leq b \leq c+2 \left(\frac{3}{4}h\right)$$

$$250 \text{ mm} \leq 400 \text{ mm} \leq 1500 \text{ mm (OK)}$$

4.4.5.2. Penulangan Lentur Balok Induk Sebelum Komposit

Balok pracetak pada saat sebelum komposit dihitung sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Pembebanan pada balok induk sebelum komposit merupakan beban terpusat dari balok anak

dan beban merata dihitung menggunakan konsep luas tributari. Dimensi balok induk pracetak direncanakan 40×48 cm. Dalam perhitungan di bawah ini akan digunakan contoh balok induk melintang dengan bentang 7,2 m.

a. Akibat Berat Sendiri Pracetak

Pada kondisi ini beban yang diterima balok induk adalah beban mati dan beban hidup pelat pracetak, balok anak pracetak, dan berat sendiri balok induk pracetak.

- Beban pada balok anak

$$L_x = 360 - (40/2 + 25/2) = 327,5 \text{ cm} = 3,275 \text{ m}$$

$$L_y = 720 - (40/2 + 40/2) = 680 \text{ cm} = 6,8 \text{ m}$$

Beban mati (DL)

$$DL \text{ pelat pracetak} = 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$DL \text{ balok anak} = 0,25 \times 0,28 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekivalen} &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times DL \times L_x \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right] \right\} \\ &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times 192 \times 3,275 \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{3,275}{6,8} \right)^2 \right] \right\} \\ &= 580,182 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total DL} = 192 + 580,182 = 748,182 \text{ kg/m}$$

Beban hidup (LL)

$$\text{Beban pekerja} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat ekivalen} = 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times DL \times L_x \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right] \right\}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times 250 \times 3,275 \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{3,275}{6,8} \right)^2 \right\} \right\} \\
 &= 755,446 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2DL + 1,6LL \\
 &= 1,2 \times 748,182 + 1,6 \times 755,446 \\
 &= 2106,531 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban yang diterima balok anak merupakan beban terpusat untuk balok induk (P_u).

$$\begin{aligned}
 P_u &= Q_u \times L/2 \\
 &= 2106,531 \times 7,2/2 = 7583,513 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban pada balok induk
 $L_x = 360 - (40/2 + 25/2) = 327,5 \text{ cm} = 3,275 \text{ m}$
 $L_y = 720 - (40/2 + 40/2) = 680 \text{ cm} = 6,8 \text{ m}$

Beban mati (DL)

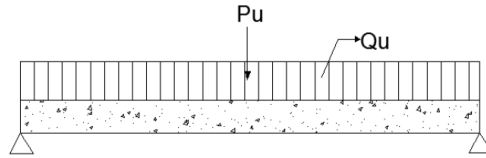
$$\text{DL pelat pracetak} = 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{DL balok induk} = 0,40 \times 0,48 \times 2400 = 460,8 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban ekivalen} &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times DL \times L_x \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right\} \right\} \\
 &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times 192 \times 3,275 \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{3,275}{6,8} \right)^2 \right\} \right\} \\
 &= 580,182 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Total DL} = 460,8 + 580,182 = 1040,982 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2DL \\
 &= 1,2 \times 1040,982 \\
 &= 1249,179 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 18. Pembebanan Balok Induk Pracetak Akibat Beban Sendiri

$$\begin{aligned}
 M_u &= (1/8 \times Q_u \times L^2) + (1/4 \times P_u \times L) \\
 &= (1/8 \times 1249,179 \times (7,2)^2) + (1/4 \times 7583,513 \times 7,2) \\
 &= 21745 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

b. Akibat Beban *Overtopping*

Pada kondisi ini beban yang diterima balok induk adalah beban mati dan beban hidup pelat pracetak, balok anak pracetak, berat sendiri balok induk pracetak dan berat beton *overtopping*.

- Beban pada balok anak

$$L_x = 360 - (40/2 + 25/2) = 327,5 \text{ cm} = 3,275 \text{ m}$$

$$L_y = 720 - (40/2 + 40/2) = 680 \text{ cm} = 6,8 \text{ m}$$

Beban mati (DL)

$$\text{DL pelat pracetak} = 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{DL overtopping} = 0,04 \times 2400 = \underline{96 \text{ kg/m}^2} +$$

$$\text{Total} = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{DL balok anak} = 0,25 \times 0,28 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat ekivalen} &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times DL \times L_x \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right\} \right\} \\
 &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times 288 \times 3,275 \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{3,275}{6,8} \right)^2 \right\} \right\} \\
 &= 870,273 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Total DL} = 168 + 870,273 = 1038,273 \text{ kg/m}$$

Beban hidup (LL)

$$\text{Beban pekerja} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekivalen} &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times DL \times Lx \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right\} \right\} \\ &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times 250 \times 3,275 \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{3,275}{6,8} \right)^2 \right\} \right\} \\ &= 755,446 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= 1,2 \times 1038,273 + 1,6 \times 755,446 \\ &= 2454,641 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban yang diterima balok anak merupakan beban terpusat untuk balok induk (Pu).

$$\begin{aligned} P_u &= Q_u \times L/2 \\ &= 2454,641 \times 7,2/2 \\ &= 8836,706 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Beban pada balok induk

$$Lx = 360 - (40/2 + 25/2) = 327,5 \text{ cm} = 3,275 \text{ m}$$

$$Ly = 720 - (40/2 + 40/2) = 680 \text{ cm} = 6,8 \text{ m}$$

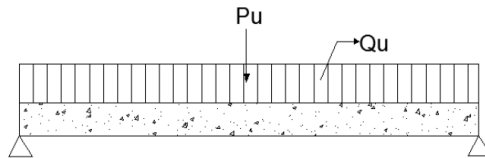
Beban mati (DL)

$$\text{DL pelat pracetak} = 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{DL overtopping} &= 0,04 \times 2400 = \underline{96 \text{ kg/m}^2} + \\ \text{Total} &= 288 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{DL balok induk} = 0,40 \times 0,48 \times 2400 = 460,8 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat ekivalen} &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times DL \times Lx \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right\} \right\} \\
 &= 2 \times \left\{ \frac{1}{2} \times 288 \times 3,275 \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{3,275}{6,8} \right)^2 \right\} \right\} \\
 &= 870,273 \text{ kg/m} \\
 \text{Total DL} &= 460,8 + 870,273 = 1331,073 \text{ kg/m} \\
 Q_u &= 1,2DL \\
 &= 1,2 \times 1331,073 \\
 &= 1257,288 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 19. Pembebanan Balok Induk Pracetak Akibat Overtopping

$$\begin{aligned}
 M_u &= (1/8 \times Q_u \times L^2) + (1/4 \times P_u \times L) \\
 &= (1/8 \times 1257,288 \times (7,2)^2) + (1/4 \times 8836,706 \times 7,2) \\
 &= 26256,5 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

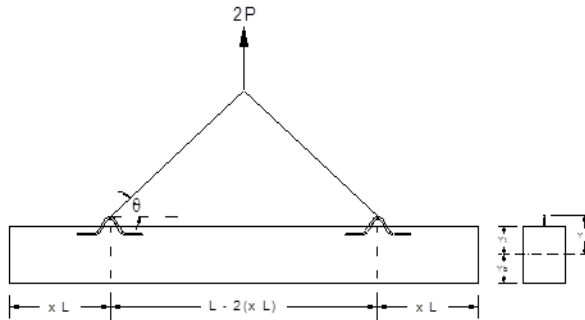
c. Akibat Pengangkatan

Balok induk pracetak diproduksi di pabrik. Diperlukan pengangkatan dari pabrik ke *flatbed truck* dan dari *flatbed truck* ke *stock yard*. Balok anak diangkat saat beton berumur 3 hari. Direncanakan beton berumur 3 hari tersebut mampu menahan momen yang terjadi selama proses pengangkatan.

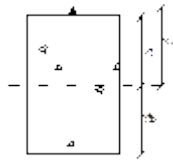
$$f'_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 46\% f_c = 46\% \times 35 = 16,1 \text{ Mpa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \sqrt{16,1} = 2,81 \text{ Mpa}$$



Gambar 4. 20. Detail Pengangkatan Balok Induk Pracetak



Gambar 4. 21. Garis Normal Balok Induk Pracetak

$$Y_t = Y_b = \frac{48}{2} = 24 \text{ cm}$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 29 \text{ cm}$$

$$Z = \frac{1}{16} \times b \times h^2 = \frac{1}{16} \times 400 \times 480^2 = 15360000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{1 + \frac{4 \times Y_c}{L \times \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4 \times Y_c}{L \times \tan \theta} \right)} \right)} \\
 &= \frac{1 + \frac{4 \times 29}{720 \times \tan 45}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{24}{24} \left(1 + \frac{4 \times 29}{720 \times \tan 45} \right)} \right)} \\
 &= 0,24
 \end{aligned}$$

$$LX = 720 \times 0,24 = 172,8 \text{ cm}$$

Beban yang bekerja pada balok anak saat pengangkatan adalah berat sendiri.

$$W = 0,4 \times 0,48 \times 2400 = 460,8 \text{ kg/m}$$

Momen yang terjadi selama pengangkatan :

$$\begin{aligned}
 M_T &= \frac{WX^2L^2}{2} \\
 &= \frac{460,8 \times 0,24^2 \times 7,2^2}{2} \\
 &= 687,9707 \text{ kgm} \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\
 &= 1031.9561 \text{ kgm} \\
 \sigma_T &= \frac{M_T}{Z} = \frac{10319561}{15360000} = 0,67 \text{ Mpa} < f_r
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_L &= \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4 \times Yc}{L \times tg\theta} \right) \\
 &= \frac{460,8 \times 7,2^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,24 + \frac{4 \times 29}{7,2 \times tg45} \right) \\
 &= 434,6265 \text{ kg/m} \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\
 &= 651,9398 \text{ kg/m} \\
 \sigma_L &= \frac{M_L}{Z} = \frac{6519398}{15360000} = 0,42 \text{ Mpa} < f_r
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan Tulangan Lentur

Dari perhitungan momen diatas didapatkan momen maksimum sebagai berikut :

$$M_T = 1031,9561 \text{ kgm} = 10319561 \text{ Nmm}$$

$$M_L = 26256,5 \text{ kgm} = 252565000 \text{ Nmm}$$

Untuk mutu beton $f'_c = 35 \text{ MPa}$ berdasarkan SNI 02847:2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,80 \geq 0,65$$

Direncanakan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \rho_b = \frac{0,85 \times 0,80 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390} = 0,0036 \text{ atau}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{fc'}}{fy} = \frac{0,25\sqrt{35}}{390} = 0,0038$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar, yaitu 0,0038.

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

Kebutuhan tulangan lentur balok anak saat pengangkatan adalah sebagai berikut :

$$M_T = 10319561 \text{ Nmm}$$

$$d = 480 - 40 - 13 - 19/2 = 417,5 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{ML}{\phi bd^2} = \frac{10319561}{0,8 \times 0,4 \times 417,5^2} = 0,19$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,19}{390}} \right] = 0,0005 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 1,3 \rho = 0,0006$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d^2 = 0,0006 \times 400 \times 417,5^2 = 103,31 \text{ mm}^2$$

$$As_{tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{103,31}{78,54} = 1,32 \approx 2$$

Digunakan tulangan lentur 2-D10

$$M_L = 252565000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{ML}{\phi bd^2} = \frac{252565000}{0,8 \times 400 \times 417,5^2} = 4,71$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,71}{390}} \right] = 0,0132$$

$$\rho_{pakai} = 0,0132$$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times d^2 = 0,0132 \times 400 \times 417,5^2 = 920,34 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 = 283,53 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} = \frac{920,34}{283,53} = 3,24 \approx 4$$

Digunakan tulangan lentur 4-D19

4.4.5.3. Penulangan Lentur Balok Induk Sesudah Komposit

Data perencanaan :

Dimensi balok induk : 400 × 600 mm

Bentang : 7,2 m

Mutu beton (f'_c) : 35 Mpa

Mutu baja (f_y) : 390 Mpa

Diameter tulangan lentur : D22

Diameter tulangan sengkang : Ø12

Tebal decking (d) : 40 mm

$$d = 600 - 40 - 12 - (0,5 \times 22) = 537 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 12 + (0,5 \times 22) = 63 \text{ mm}$$

Untuk mutu beton $f'_c = 35 \text{ MPa}$ berdasarkan SNI 02847:2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

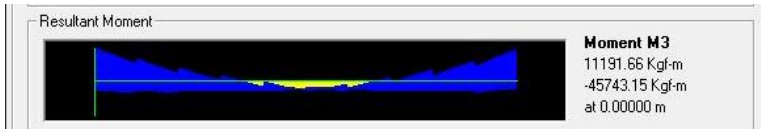
$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,80 \geq 0,65$$

Perhitungan berikut merupakan balok induk interior melintang dengan bentang 7,2 meter. Dari hasil analisa SAP 2000 didapat nilai momen sebagai berikut :

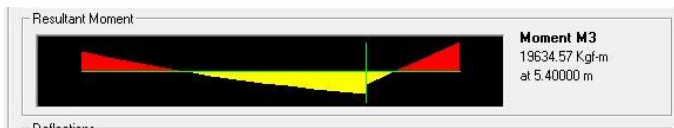
$$M_{T \text{ kiri}} = -448565599 \text{ Nmm (menentukan)}$$

$$M_{T \text{ kanan}} = -4419419974 \text{ Nmm}$$

$$M_L = 192547443 \text{ Nmm}$$



Gambar 4. 22. Momen Tumpuan Balok Induk



Gambar 4. 23. Momen Lapangan Balok Induk

Tulangan lentur pada tumpuan balok induk direncanakan sebagai tulangan rangkap dimana kemampuan penampang untuk memikul lentur merupakan kombinasi dari tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A_s') dikalikan lengannya. Dalam perhitungan dibawah ini menggunakan cara coba-coba menentukan garis netral (x) sampai dengan tulangan tarik sudah tidak mampu lagi untuk memikul momen akibat beban luar, sehingga diperlukan adanya tulangan tekan.

a. Tumpuan

$$M_n = M_u / 0,8 = 560706999 \text{ Nmm}$$

$$\text{Direncanakan } x \leq 0,75x_b$$

$$0,75x_b = 0,75 \times \frac{600}{600+f_y} \times d = 0,75 \times \frac{600}{600+390} \times 537 = 244,09 \text{ mm}$$

$$x = 95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times x}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,80 \times 35 \times 400 \times 95}{390} \\ &= 2318,974 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times x}{2} \right) \\
 &= 2318,974 \times 390 \times \left(537 - \frac{0,80 \times 95}{2} \right) \\
 &= 451295600 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n - M_{nc} &= 560706999 - 451295600 \\
 &= 109411399 \text{ Nmm} > 0, \text{ maka perlu tulangan tekan.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' = T &= \frac{M_n - M_{nc}}{d - d'} \\
 &= \frac{109411399}{537 - 63} \\
 &= 230826 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s' &= \left(1 - \frac{d'}{x} \right) 600 \\
 &= \left(1 - \frac{63}{95} \right) 600 \\
 &= 202,11 \text{ Mpa} < f_y, \text{ maka digunakan } f_s' = 202,11 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan tarik (A_s) :

$$\begin{aligned}
 A_{ss} &= \frac{T}{f_y} = \frac{230826}{390} = 591,86 \text{ mm}^2 \\
 A_s &= A_{sc} + A_{ss} \\
 &= 2318,974 + 591,86 \\
 &= 2910,84 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan tekan (A_s') :

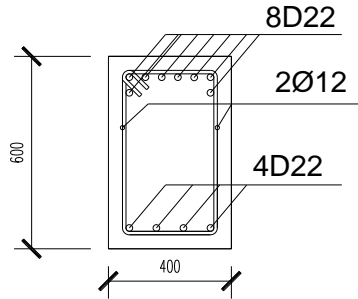
$$\begin{aligned}
 A_s' &= \frac{C_s'}{f_s' - 0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{230826}{202,11 - 0,85 \times 35} \\
 &= 1339,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tarik 8-D22

$$A_s \text{ aktual} = 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 3401,06 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tekan 4-D22

$$A_s' \text{ aktual} = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 1520,53 \text{ mm}^2$$



Gambar 4. 24. Tulangan Lentur Tumpuan Balok Induk

$$\text{Kontrol jarak} = \frac{400-40-40-13-13-(6 \times 22)}{6-1} = 32,4 > 25 \text{ mm (OK)}$$

$$d \text{ aktual} = 600 - 40 - 13 - 22 - (6/8) \times 22 = 510 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y - A_s' \times f_s'}{0,85 \times f_c \times b} \\ &= \frac{3401,06 \times 390 - 1520,53 \times 202,11}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 73,84 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 f_c' \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \times f_s' \times (d - d') \\ &= 0,85 \times 35 \times 73,84 \times 400 \times \left(537 - \frac{73,84}{2} \right) + 1520,53 \times 202,11 \times (537 - 63) \\ &= 617301575 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,85 \times M_n = 524706339 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$524706339 \text{ Nmm} \geq 448565599 \text{ Nmm (OK)}$$

b. Lapangan

$$M_n = M_u / 0,8 = 192547443 \text{ Nmm}$$

$$\text{Direncanakan } x \leq 0,75 x_b$$

$$0,75 x_b = 0,75 \times \frac{600}{600 + f_y} \times d = 0,75 \times \frac{600}{600 + 390} \times 537 = 244,09 \text{ mm}$$

$$x = 95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'} \times b \times x}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,80 \times 35 \times 400 \times 95}{390} \\ &= 2318,974 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nc} &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times x}{2} \right) \\ &= 2318,974 \times 390 \times \left(540,5 - \frac{0,80 \times 80}{2} \right) \\ &= 451295600 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n - M_{nc} &= 192547443 - 451295600 \\ &= -210611296 \text{ Nmm} > 0, \text{ maka dipasang tulangan tunggal.} \end{aligned}$$

Direncanakan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \rho_b = \frac{0,85 \times 0,80 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036 \text{ atau } \rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_{c'}}}{f_y} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} = 0,0038$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar, yaitu 0,0038.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

Kebutuhan tulangan lentur lapangan balok induk adalah sebagai berikut :

$$M_L = 192547443 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{MT}{\phi b d^2} = \frac{192547443}{0,8 \times 400 \times 537^2} = 2,09$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{13,11} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 2,09}{390}} \right] = 0,0056 \end{aligned}$$

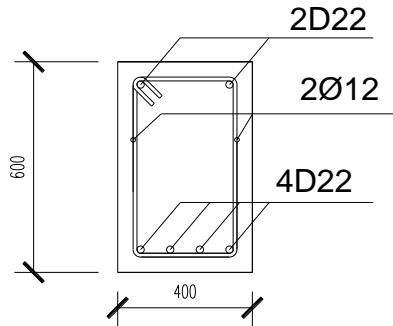
$$\rho_{pakai} = 0,0056$$

$$As_{perlu} = \rho \times b \times dx = 0,0056 \times 400 \times 537 = 1192,64 \text{ mm}^2$$

$$As_{tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 = 380,13 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}} = \frac{1192,64}{380,13} = 3,14 \approx 4$$

Digunakan tulangan lentur 4-D22 ($As = 1520,52 \text{ mm}^2$)



Gambar 4. 25. Tulangan Lentur Lapangan Balok Induk

$$\text{Kontrol jarak} = \frac{400 - 40 - 40 - 10 - 10 - (4 \times 22)}{3 - 1} = 68,67 > 25 \text{ mm (OK)}$$

$$d \text{ aktual} = 600 - 40 - 13 - 22/2 = 536 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\ &= \frac{1520,52 \times 390}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 49,83 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= As \times f_y \times (d - a/2) \\ &= 1520,52 \times 390 \times (537 - 49,83/2) \\ &= 303074836 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi Mn = 0,85 \times 303074836 = 257613610 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn \geq Mu$$

$$257613610 \text{ Nmm} \geq 192547443 \text{ Nmm (OK)}$$

Ada beberapa persyaratan tulangan lentur yang perlu diperhatikan pada perencanaan komponen lentur SRPMK antara lain (Iswandi Imran, 2014) :

- Masing-masing luas tulangan atas dan bawah harus lebih besar dari luas tulangan minimum yang disyaratkan, yaitu
 $(0,25bwd\sqrt{f'c})/f_y$ atau $(1,4bwd)/f_y$
 $(0,25bwd\sqrt{f'c})/f_y = 819,91 \text{ mm}^2$
 $(1,4bwd)/f_y = 776,10 \text{ mm}^2$
 $A_s = \text{mm}^2 > 819,91 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$
 $A_s' = \text{mm}^2 > 819,91 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$
- Kuat lentur positif balok pada muka kolom harus lebih besar atau sama dengan setengah kuat lentur negatifnya. Kuat lentur negatif dan positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar pada bentang tersebut.
 $M_n^+ \geq \frac{1}{2}M_n^-$
- Sambungan lewatan untuk penyambungan tulangan lentur harus diberi tulangan spiral atau sengkang tertutup di sepanjang sambungan tersebut. Pemasangan tulangan tersebut untuk mengantisipasi terkelupasnya selimut beton pada saat penampang mengalami deformasi.
- Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada :
 - Daerah hubungan balok – kolom,
 - Daerah hingga jarak dua kali tinggi balok h dari muka kolom
 - Lokasi-lokasi yang berdasarkan hasil analisis memperlihatkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan lateral

4.4.5.4. Penulangan Geser

Penulangan geser dibutuhkan untuk menahan geser, mengekang daerah inti penampang beton dan menyediakan tahanan lateral bagi batang-batang tulangan lentur dimana tegangan leleh dapat terbentuk (Iswandi Imran, 2014). Karena pengelupasan selimut beton dapat terjadi pada saat gempa kuat, terutama di

daerah sendi plastis dan daerah sekitarnya, maka semua tulangan transversal pada elemen SRPMK harus berbentuk sengkang tertutup dan memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.

Sesuai peraturan SNI 2847:2013 pasal 11.1 perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan: $\Phi V_n = V_u$

Dengan V_u merupakan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n merupakan kuat geser nominal yang ditinjau dari:

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana:

V_u = Geser pada terfaktor penampang yang ditinjau

Φ = Faktor reduksi geser (0,75)

V_n = Kuat Geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat Geser nominal tulangan geser

Penulangan geser balok induk berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.3.1 dimana nilai gaya geser rencana (yang digunakan untuk perencanaan desain) bukan hanya pada gaya geser yang terjadi, tetapi harus memenuhi persyaratan berikut :

- Jumlah gaya lintang yang terjadi merupakan akibat kuat lentur nominal balok pada ujung bentang dan akibat beban gravitasi terfaktor.
- Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban gempa diambil nilai beban gempa sebesar dua kali lipat nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm V_g$$

Dimana

V_u = Gaya geser (kN)

M_{pr} = kekuatan momen maksimum yang mungkin (kNm)

l_n = bentang bersih (m)

V_g = gaya geser akibat gravitasi (kN)

$$M_{pr} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$a = \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f_{rc} \times b}$$

$$l_n = 6,6 \text{ m}$$

Tabel 4. 19. Mpr pada Balok Induk

T U M P U A N	Lokasi		Tul. Pasang	As pasang (mm ²)	apr (mm)	Mpr (kNm)
	Kiri	Atas	8	3041,06	124,58	663
		Bawah	4	1520,53	62,29	355
	Kanan	Atas	8	3041,06	124,58	663
		Bawah	4	1520,53	62,29	355

Dari hasil analisa SAP 2000 didapatkan $V_g = 282,181 \text{ kN}$

➤ Analisa terhadap gempa kiri

$$V_u = \frac{663+355}{6,6} + 282,181$$

$$V_u = 437 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{663+355}{6,6} - 282,181$$

$$V_u = 127 \text{ kN}$$

➤ Analisa terhadap gempa kanan

$$V_u = \frac{663+355}{6,6} + 282,181$$

$$V_u = 437 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{663+355}{6,6} - 282,181$$

$$V_u = 127 \text{ kN}$$

Hasil dari SAP 2000 didapatkan nilai geser maksimum $V_u = 299 \text{ kN}$. Maka digunan $V_u = 437 \text{ kN}$.

a. Pemasangan sengkang daerah sendi plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 tulangan transversal untuk memikul geser dianggap $V_c = 0$, apabila :

- $V_u \geq 0,5 \times \text{total geser maksimum}$
 $437 \geq 0,5 \times 299$
 $437 \text{ kN} \geq 149,5 \text{ kN (OK)}$
- Gaya aksial tekan $< A_g \times (f_c'/20)$
 $191624 \text{ N} < (400 \times 600) \times (35/20)$
 $191624 \text{ N} < 420000 \text{ N (OK)}$

$$V_s = V_u / \phi = 437 / 0,75 = 583 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 2/3 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 2/3 \times \sqrt{35} \times 400 \times 510 \\ &= 804 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_s < V_s \text{ max}$$

Jika digunakan sengkang 2 kaki dengan $\phi 12 \text{ mm}$ ($A_v = 226,19 \text{ mm}^2$), maka

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{226,19 \times 390 \times 510}{583 \times 10^3} = 104,36 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.2 bahwa sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua ujung balok dengan panjang $2h = 1200 \text{ mm}$ dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- $d/4 = 540,5 / 4 = 135,125 \text{ mm}$
- $6D = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Dari syarat tersebut maka diambil sengkang di daerah plastis $\phi 12-100 \text{ mm}$. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

b. Pemasangan sengkang di luar daerah sendi plastis

Nilai geser maksimum V_u di luar sendi plastis sebagai berikut :

$$\frac{3,3}{2} = \frac{437}{V_u}, V_u = 280$$

$$V_s = V_u / \phi = 280 / 0,75 = 373 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 2/3 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 2/3 \times \sqrt{35} \times 400 \times 510 \\ &= 804 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_s < V_s \text{ max}$$

Jika digunakan sengkang 2 kaki dengan ϕ 13 mm ($A_v = 226,19 \text{ mm}^2$), maka

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{226,19 \times 390 \times 510}{373 \times 10^3} = 120,59 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.3 bahwa jarak sengkang di luar sendi plastis di sepanjang balok tidak lebih dari :

$$- d/2 = 540,5 / 2 = 270,25 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis ϕ 12-100.

4.4.5.5. Penulangan Torsi

Data perencanaan

$$\text{Dimensi balok induk} = 400 \times 600 \text{ mm}$$

$$T_u \text{ (dari SAP 2000)} = 30220329 \text{ Nmm}$$

$$T_n = T_u / 0,75 = 40293772 \text{ Nmm}$$

Sesuai peraturan SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2 bahwa pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam. Pengaruh torsi balok diabaikan bila momen torsi terfaktor

$$T_u \text{ kurang dari: } \phi 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

Dimana:

$$\phi = \text{Faktor reduksi kekuatan}$$

$$f'_c = \text{kuat tekan beton (Mpa)}$$

$$A_{cp} = \text{luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm)}$$

$$P_{cp} = \text{Keliling luar penampang beton (mm)}$$

$$T_u < \phi 0,33 \lambda \sqrt{f'c} \frac{A^2_{cp}}{P_{cp}}$$

$$T_u < 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \frac{(500 \times 700)^2}{2 \times (500 + 700)}$$

30220329 Nmm < 42169817 Nmm, maka penampang membutuhkan tulangan torsi.

Tulangan torsi untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang dibutuhkan untuk menahan punter direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} P h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \cot^2 \theta$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dapat dihitung dari persamaan dibawah ini:

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yv}}{s} \cot \theta \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6}$$

Dimana :

T_n = kekuatan momen torsi nominal

T_u = momen torsi terfaktor pada penampang

A_o = luas penampang beton yang menahan transfer geser (mm²)

A_t = luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi dalam spasi s (mm²)

f_{yt} = kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa)

s = spasi tulangan geser atau puntir dalam arah parallel dengan tulangan longitudinal (mm)

$$A_o = 0,85 \times A_{ho} = 0,85 \times 307 \times 507 = 132301,65 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yv}}{s} \cot \theta$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{40293772}{2(132301,65 \times 240 \times \cot 45)} = 0,635$$

$$\frac{A_t}{s \text{ min}} = \frac{0,175 b w}{f_{yv}} = \frac{0,175 \times 400}{240} = 0,292 \text{ (menentukan)}$$

Tulangan torsi untuk lentur yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 A_l &= \frac{At}{s} Ph \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \cot^2 \theta \\
 &= 0,292 \times 1628 \left(\frac{240}{390} \right) \cot^2 45 \\
 &= 292,54 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir perlu sebesar 292.54 mm² untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok, $\frac{A_l}{4} = 73,05 \text{ mm}^2$.

Digunakan tulangan 2D10, $A_s = 157,08 \text{ mm}^2$

4.4.5.6. Analisa Kekuatan Tulangan Angkat Balok Induk Pracetak

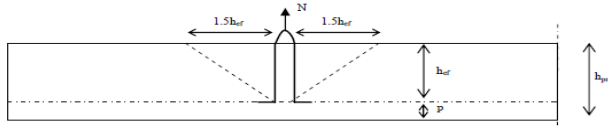
Beban ultimate dari pengangkatan pelat pracetak adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{BS precast} &= 0,40 \times 0,48 \times 6,6 \times 2400 &= 3041,28 \text{ kg} \\
 \text{Stud + tulangan} &= 10\% \text{ BS precast} &= 30,413 \text{ kg} \\
 qD &= 3071.693 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 qL &= 250 \text{ kg (pekerja)} \\
 qU &= 1,2qD + 1,6 qL \\
 &= 1,2 \times 3071,693 + 1,6 \times 250 \\
 &= 4086,031
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan 2 titik angkat, maka setiap titik angkat menerima beban sebesar 2043,016 kg. Direncanakan tulangan angkat menggunakan tulangan polos Ø12 mm ($f_y=390 \text{ Mpa}$).

$$\begin{aligned}
 \sigma_b &= f_y / 1.5 = 390 / 1,5 = 260 \text{ Mpa} \\
 A_s &= 20430,16 \text{ N} / 260 \text{ Mpa} = 79 \text{ mm}^2 \\
 A_{tul} &= 0,25 \times \pi \times 12^2 = 113,10 \text{ mm}^2 > A_s
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 26. Perencanaan Tulangan Angkat pada Balok Induk

Gaya tarik nominal yang bekerja pada angkur harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Kekuatan baja angkur (N_{sa})

$$N_n \leq N_{sa}$$

- Kekuatan pecah beton dari angkur tunggal terhadap gaya tarik (N_b)

$$N_n \leq N_b$$

$$N_n = N_b = 20430,16 \text{ N}$$

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{N_n}{k_c \sqrt{f_{rc}}}\right)^2} = h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{20430,16}{10\sqrt{35}}\right)^2} = 49,22 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut maka tulangan angkat (angkur) dipasang sedalam 50 mm dari permukaan balok induk pracetak.

4.4.5.7. Penulangan Terpasang Balok Induk

Tabel 4. 20. Tulangan Lentur dan Torsi Balok Induk

Tipe balok		L m	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan	Lapangan	Torsi
BI1	Atas	3.6	8 - D22	8 - D22	2 - D22	2 - D10
	Bawah		4 - D22	4 - D22	4 - D22	
BI2	Atas	7.2	8 - D22	8 - D22	2 - D22	2 - D10
	Bawah		4 - D22	4 - D22	4 - D22	
BI3	Atas	4.8	7 - D22	7 - D22	2 - D22	2 - D10
	Bawah		4 - D22	4 - D22	4 - D22	
BI4	Atas	3.3	7 - D22	7 - D22	2 - D22	2 - D10
	Bawah		4 - D22	4 - D22	3 - D22	
BI5	Atas	6.3	7 - D22	7 - D22	2 - D22	2 - D10
	Bawah		4 - D22	4 - D22	3 - D22	

Tabel 4. 20. Tulangan Geser Balok Induk

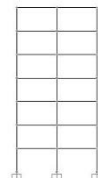
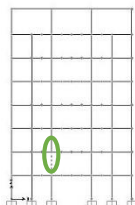
Tipe balok	L	Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
	m		
BI1	3.6	2Ø12 - 100	2Ø12 - 150
BI2	7.2	2Ø12 - 100	2Ø12 - 150
BI3	4.8	2Ø12 - 100	2Ø12 - 200
BI4	3.3	2Ø12 - 100	2Ø12 - 200
BI5	6.3	2Ø12 - 100	2Ø12 - 150

4.4.6. Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi mamikul beban-beban yang diterima struktur sekunder dan balok induk kemudian meneruskan beban yang diterima ke pondasi. Pada perencanaan berikut diambil kolom yang memikul beban terbesar.

4.4.6.1. Data Perencanaan

- Dimensi kolom = 650 x 650 mm
- Tinggi kolom = 4200 mm
- Tebal decking = 40 mm
- Diameter tulangan utama = 25 mm
- Diameter sengkang = 13 mm
- Mutu beton (f_c') = 35 Mpa
- Mutu baja (f_y) = 390 Mpa

**Gambar 4. 27.** Kolom yang Ditinjau

- Gaya yang terjadi pada kolom (hasil analisis SAP 2000) :

- Gaya Aksial Kolom



1,4D



1,2D + 1,6L

- Momen Arah Sumbu Y

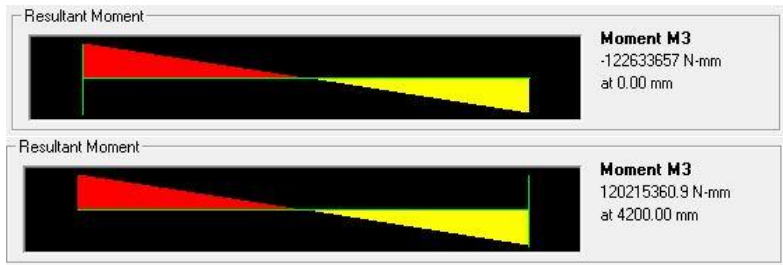


1,2D + 1,6L



1EX + 0,3EY

- Momen Arah Sumbu X



1,2D+1,6L



1EX + 1,3EY

4.4.6.2. Kontrol Dimensi Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.1 persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain adalah :

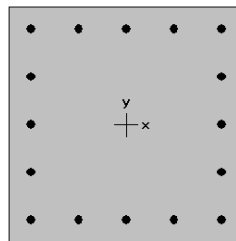
- Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom harus melebihi $A_g f_c' / 10$
 $P_u > A_g f_c' / 10$
 $P_u > (700 \times 700 \times 35) / 10$
 $P_u \text{ kN} > 1715 \text{ kN}$, gaya aksial terfaktor maksimum memenuhi persyaratan $> A_g f_c' / 10$
- Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm
 $b = 650 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$
- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4
 $650/650 = 1 > 0,4$

4.4.6.3. Konfigurasi Penulangan

Dari hasil desain berdasarkan gaya dalam yang diperoleh dari program bantu PCACOL didapatkan kebutuhan tulangan utama sebagai berikut :

Tabel 4. 22. Kebutuhan Tulangan Lentur Kolom

Dimensi		Jumlah	As
Diameter	Luas Tul		
(mm)	(mm ²)		(mm ²)
25	491	16	7856



650 × 650 mm
1.93% reinf.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.9.1 kebutuhan rasio tulangan ρ_g yaitu antara 0,01 sampai 0,08.

$$\text{Rasio tulangan } \rho_g = A_s / A_g = 7856 / (650 \times 650) = 0,0193$$

$$0,01 < \rho_g = 0,0193 < 0,08$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.3.6.2 kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\phi P_n = 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f_c' \times (A_g - A_s) + f_y \times A_s]$$

$$\phi P_n = 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 35 \times (422500 - 7856) + 390 \times 7856]$$

$$\phi P_n = 8007739 \text{ N} = 8007,739 \text{ kN} > 3121 \text{ kN}$$

Jadi tulangan utama D25 dapat digunakan.

4.4.6.4. Kuat Kolom (*Strong Column Weak Beam*)

SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan kekuatan lentur kolom memenuhi :

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

ΣM_{nc} = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang bertemu di join

ΣM_{nb} = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang bertemu di join

Dari perhitungan penulangan lentur balok pada tumpuan (bertemu di join yang ditinjau) sebelumnya didapatkan ØMn balok tulangan atas = kNm dan ØMn balok tulangan bawah = kNm.

$$1,2 \Sigma M_{nb} = 1,2 \times (663 + 355) = 1221 \text{ kNm}$$

Dari diagram tersebut didapatkan momen pada kolom sebagai berikut :

ØMn kolom lantai 3 = 859 kNm

ØMn kolom lantai 2 = 1015 kNm

ØMn kolom lantai 1 = 912,5 kNm

Join antara kolom lantai 1 dan 2

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$859 + 1015 \geq 1221$$

$$1874 \text{ kNm} \geq 1221 \text{ kNm}$$

Join antara kolom lantai 2 dan 3

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$1015 + 912,5 \geq 1221$$

$$1927,5 \text{ kNm} \geq 1221 \text{ kNm}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan kolom yang ditinjau memenuhi persyaratan *Strong Column Weak Beam*.

4.4.6.5. Penulangan *Confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 total luas penampang *hoops* tidak kurang dari salah satu yang terbesar antara:

$$A_{sh} = 0,3 \left(\frac{s \times b_c \times f'c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \text{ atau } A_{sh} = \frac{0,09 \times s \times b_c \times f'c}{f_{yt}}$$

s = spasi jarak antar tulangan

b_c = lebar penampang inti beton yang terkekang

A_{ch} = luas penampang inti beton

Direncanakan menggunakan tulangan D13, A_s = 132,7 mm²

$$b_c = b_w - 2(40 + \frac{1}{2}d) = 650 - 2(40 + \frac{1}{2} 13) = 557 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = (b_w - 2(40)) \times (b_w - 2(40)) = (650 - 80)^2 = 324900 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} &= 0,3 \left(\frac{b_c \times f'c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \left(\frac{557 \times 35}{390} \right) \left(\frac{422500}{324900} - 1 \right) \\ &= 4,51 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} &= \frac{0,09 \times b_c \times f'c}{f_{yt}} \\ &= \frac{0,09 \times 557 \times 35}{390} \\ &= 4,49 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3 spasi maksimum adalah yang terkecil antara:

- $\frac{1}{4}$ dimensi penampang kolom = $650/4 = 162,5 \text{ mm}$
- 6 kali diameter tulangan longitudinal = $6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
- $s_o \leq 100 + \frac{350 - h_x}{3} \leq 150 \text{ mm}$, dengan $h_x = 2/3 h_c = 371,3 \text{ mm}$
atau spasi horizontal maksimum kaki-kaki pengikat silang = 206 mm
 $s_o \leq 100 + \frac{350 - 206}{3} = 148 \leq 150 \text{ mm}$

Digunakan s = 100 mm.

$$A_{sh} = 4,5 / 100 = 450 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 4,49 / 100 = 449 \text{ mm}^2$$

Direncanakan penulangan *confinement* menggunakan tulangan 4 kaki D13 dengan luas penampang 531 mm² supaya kebutuhan A_{sh} minimum terpenuhi.

4.4.6.6. Penulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1 gaya geser desain (V_e) harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan (join) di setiap ujung komponen struktur.

- V_e tidak perlu lebih besar dari V_{sway}

$$V_{sway} = \frac{Mpr_{top} \times DF_{top} + Mpr_{btm} \times DF_{btm}}{ln}$$

Dimana,

Mpr_{top} dan Mpr_{btm} : penjumlahan Mpr untuk masing-masing balok di lnatai atas dan lantai bawah di muka kolom

DF : faktor pengaku yaitu 0,5

ln : bentang bersih kolom

$$V_{sway} = \frac{(663+355) \times 0,5 + (663+335) \times 0,5}{3,55} = 286,76 \text{ kN}$$

- V_e harus lebih besar dari gaya geser hasil analisis SAP
 $V_e = 318 \text{ kN}$

Maka diambil nilai $V_e = 318 \text{ kN}$

V_c dapat diambil 0 apabila gaya aksial terfaktornya melampaui $0,05 Ag f_c'$ dan V_e akibat gempa melebihi $\frac{1}{2} V_u$.

- $P_u > 0,05 Ag f_c'$
 $3206 > 0,05 (650 \times 650) 35$
 $3206 > 739,375 \text{ kN}$
- $V_e > \frac{1}{2} V_u$
 $286,76 > \frac{1}{2} 318$
 $286,76 > 159$, maka V_c diperhitungkan.

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c}}{6} b_w d = \frac{\sqrt{35}}{6} \times 650 \times 584,5 \times 10^{-3} = 374,61 \text{ kN}$$

$$0,5 V_c = 187,31 \text{ kN}$$

$$V_u / \phi = 318 / 0,75$$

$$= 424 \text{ kN} > 0,5 V_c, \text{ maka diperlukan tulangan geser}$$

$$V_s = \frac{1}{3} b_w d = \frac{1}{3} \times 650 \times 584,5 \times 10^{-3} = 126,64 \text{ kN}$$

$$V_c + V_s = 374,61 + 126,64 = 501,25 \text{ kN}$$

$V_u/\phi < V_c + V_s$, sehingga dibutuhkan tulangan geser minimum.

$$A_v \text{ min} = \frac{1}{3} \frac{b_w \times s}{f_y} = \frac{1}{3} \frac{650 \times 100}{390} = 55,56 \text{ mm}^2$$

Sebelumnya sudah terpasang tulangan *confinement* 4 kaki D-13 dengan $A_s = 550 \text{ mm}^2$, sehingga sudah melebihi kebutuhan tulangan geser minimum.

Untuk kebutuhan tulangan geser di luar bentang l_o , diperhitungkan V_c sebagai berikut :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$$

Dengan N_u = gaya tekan aksial terkecil pada kolom

$\lambda = 1$, untuk beton normal (SNI 2847:2013 pasal 8.6.1)

$$N_u = 845,42 \text{ kN (SAP 2000 kombinasi 0,9D+1E)}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{845,42 \times 10^3}{14(650 \times 650)} \right) 1 \sqrt{35} \times 650 \times 584,5 \\ &= 436716 \text{ N} = 436,716 \text{ kN} \end{aligned}$$

$V_c > V_u/\phi$, maka tidak dibutuhkan tulangan geser pada bentang di luar l_o . Jadi pada bentang di luar l_o hanya dipasang tulangan *confinement*.

4.4.6.7. Desain Lap Splices

Lap Splices (sambungan lewatan) hanya boleh dipasang di tengah tinggi kolom dan harus diikat dengan tulangan sengkang *confinement*. Sepanjang *lap splices* digunakan spasi tulangan transversal dipasang sesuai dengan spasi tulangan *confinement* yaitu 100 mm.

Dalam perencanaan sambungan lewatan diklasifikasikan dalam kelas B, dimana panjang lewatannya adalah $1,3l_d$ (Iswandi Imran, 2014). Untuk tulangan baja dengan diameter 25 mm, $l_d = 48d_b$ (SNI 2847:2013 pasal 12.2.2).

$$1,3 l_d = 1,3 \times 48 \times 25 = 1560 \text{ mm}$$

Sambungan lewatan tersebut dapat dikurangi dengan cara dikalikan 0,83 apabila area efektif tulangan *confinement* tidak kurang dari 0,0015hs.

Untuk $s = 100$, area efektif = $0,0015 \times 650 \times 100 = 97,5 \text{ mm}^2$

Area tulangan *confinement* = $531 \text{ mm}^2 > 0,0015hs$

Maka sambungan lewatan yang digunakan adalah $0,83 \times 1560 = 1300 \text{ mm} = 1,3 \text{ m}$.

4.4.7. Hubungan Balok – Kolom SRPMK

4.4.7.1. Dimensi Join

SNI 2843:2013 pasal 21.7.4.1

- Luas efektif hubungan balok-kolom, dinyatakan dalam A_j , adalah:
 $A_j = 650 \text{ mm} \times 650 \text{ mm} = 422500 \text{ mm}^2$
- Panjang join yang diukur paralel terhadap tulangan lentur balok yang menyebabkan geser di join sedikitnya 20 kali db longitudinal terbesar
 $\text{Panjang join} = 20 \times 22 \text{ mm} = 440 \text{ mm} < 500 \text{ mm (OK)}$

4.4.7.2. Penulangan Transversal untuk *Confinement*

- Harus ada tulangan sengkang/ *confinement* dalam join
- Untuk join interior, jumlah tulangan sengkang yang dibutuhkan setidaknya setengah tulangan sengkang yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom atau $0,5 A_{sh} / s$
 $0,5 A_{sh} / s = 0,5 \times 4,5 \text{ mm}^2/\text{mm} = 2,25 \text{ mm}^2/\text{mm}$
- Spasi sengkang diizinkan diperbesar hingga 150 mm
 $150 \text{ mm} \times 2,25 \text{ mm}^2/\text{mm} = 337,5 \text{ mm}^2$
 Di coba menggunakan hoop sengkang 4 kaki D 13, $A_s = 530 \text{ mm}^2 > 337,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$

4.4.7.3. Perhitungan Geser di Join

Balok yang memasuki join memiliki *porable moment* (M_{pr}) 663kNm dan 355kNm. Pada join, kekakuan kolom atas dan

kekakuan kolom bawah sama, sehingga $DF = 0,5$ untuk setiap kolom, sehingga:

$$\begin{aligned} M_e &= 0,5 \times (663000000 + 355000000) \text{ Nmm} \\ &= 509000000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Geser pada kolom atas

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}} &= (509000000 + 509000000) / 3600 \\ &= 282778 \text{ N} \end{aligned}$$

Dibagian lapis atas balok, baja tulangan yang dipakai adalah 8 D22, $A_s = 3041 \text{ mm}^2$

Gaya tarik yang bekerja pada baja tulangan balok

$$\begin{aligned} T' &= 1,25 A_s f_y \\ &= 1,25 \times 3041 \times 390 \\ &= 1482518 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang bekerja pada balok

$$C = T = 1482518 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_u = V_j &= V_{\text{sway}} - C - T \\ &= 282778 - 1482518 - 1482518 \\ &= 2682258 \text{ N (ke kiri)} \end{aligned}$$

Kuat geser nominal join yang dikekang di keempat sisinya adalah:

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \sqrt{f_c} A_j \\ \Phi V_n &= 0,75 \times 1,7 \times \sqrt{35} \times 422500 \\ &= 3186918 \text{ N} > V_u = 2091674 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

Jadi perencanaan kuat geser pada join sudah memenuhi.

4.5. Perencanaan Sambungan

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut kemudian diteruskan ke pondasi. Desain sambungan juga dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu

sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

Sambungan basah relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering. Untuk sambungan basah dalam daerah join, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran dan sambungan lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *overtopping*. Didalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connection*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat bersifat monolit.

Dalam pelaksanaan konstruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Faktor kekuatan harus terpenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus mampu menahan haya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa beban. Adapun syarat yang harus dipenuhi dalam perencanaan sambungan SRPMK seperti pada SNI 2847:2013 pasal 21.8.

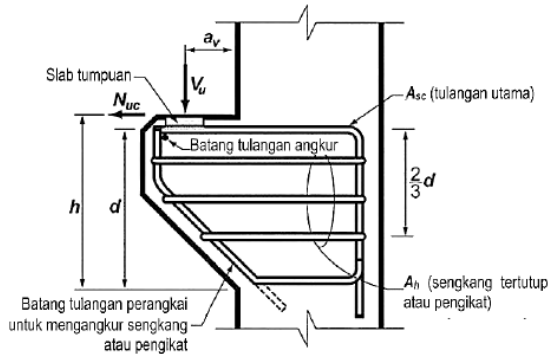
4.5.5.1. Perencanaan Sambungan Balok – Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom digunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol yang berada pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11. Bentuk konsol pendek yang dipakai sebagai berikut :

a. Data Perencanaan

- V_u balok induk = 298652 N (hasil SAP)
- Dimensi balok induk = 40 x 60 cm
- Dimensi konsol
 - bw = 300 mm
 - h = 400 mm
 - d = 400-15- $\frac{1}{2}$ 19 = 376 mm
- Tebal pelat landas = 15 mm
- Diameter tul. Lentur = 19 mm

- Diameter tul. Geser = 12 mm
- f_c' = 35 Mpa
- f_y = 390 Mpa
- a_v = 200 mm



Gambar 4. 28. Perencanaan Konsol Pendek

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.

- Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi a_v/d tidak boleh lebih besar dari satu.
 $a_v/d = 200 / 376 = 0,5 < 1$ (OK)
- N_{uc} tidak lebih besar daripada V_u .
 $N_{uc} \geq 0,2V_u$
 $N_{uc} = 0,2V_u = 0,2 \times 298652 = 59730,4N$
- Tulangan longitudinal utama harus dibuat menerus melintasi sambungan dan harus disalurkan di luar baik sambungan kekuatan dan daerah sendi plastis.

Pada perencanaan konsol pendek hal yang paling diperhatikan adalah kekuatan geser. Gaya geser ultimate pada muka kolom tidak melebihi $0,8\sqrt{f_c}$ atau 5 N/mm^2 (Kim S Elliot, 2002).

$$V_n = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{298652}{650 \times 376} = 1,22 \text{ N/mm}^2$$

$$0,8\sqrt{f_c} = 0,8 \times \sqrt{35} = 4,7 \text{ N/mm}^2$$

$$V_n < 0,8\sqrt{f_c} \text{ (OK)}$$

$$V_n < 5 \text{ N/mm}^2 \text{ (OK)}$$

Sambungan pracetak pada sistem rangka pemikul momen khusus didesain untuk memenuhi persyaratan sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.8 sebagai berikut :

$$V_n > 2V_e$$

$$V_n = V_u / \phi = 298652 / 0,75 = 398203 \text{ N}$$

$$2V_e = 2 \times 154242 = 308484 \text{ N (gaya geser akibat beban gempa)}$$

$$398203 \text{ N} > 308484 \text{ N (OK)}$$

b. Perencanaan Tulangan Geser Friksi

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.2.1 untuk beton normal V_n tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- $0,2 \times f_c' \times b_w \times d = 0,2 \times 35 \times 300 \times 376$
 $= 906832,5 \text{ N}$
- $(3,3 + 0,08f_c') \times b_w \times d = (3,3 + 0,08 \times 35) \times 300 \times 376$
 $= 687165 \text{ N}$
- $11 \times b_w \times d = 11 \times 300 \times 376$
 $= 1239150 \text{ N}$

Dari persyaratan tersebut didapatkan nilai yang lebih besar dari gaya geser ultimate $V_n = 433589 \text{ N}$.

Kebutuhan tulangan friksi :

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} = \frac{398203}{390 \times 1,4} = 729,31 \text{ mm}^2$$

μ adalah koefisien friksi dengan kriteria beton yang dicor di tempat dengan nilai 1,4 (SNI 2847:2013 pasal 11.6.4.3)

c. Perencanaan Tulangan Lentur Konsol

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \rho_b = \frac{0,85 \times 0,80 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036 \text{ atau } \rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25\sqrt{35}}{390} = 0,0038$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar, yaitu 0,0038.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

Momen yang bekerja pada konsol adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Mu &= V_n \times a_v + N_{uc} \times (h - d) \\ &= 398203 \times 200 + 59730,4 \times (400 - 376) \\ &= 61193795 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{61193795}{0,8 \times 300 \times 376^2} = 4,34$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{13,11} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,34}{390}} \right] = 0,0121 \end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0121$$

Tulangan Af dirancang untuk menahan momen ($M_u = V_n \times a_v + N_{uc} \times (h - d)$). Tulangan Af diambil nilai terkecil dari :

$$\begin{aligned} Af_1 &= \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d} \\ &= \frac{73753545,6}{0,85 \times 0,75 \times 390 \times 376} \\ &= 655,47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Af_2 &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0121 \times 400 \times 376 \\ &= 428,55 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$Af = 428,55 \text{ mm}^2$$

Tulangan An berfungsi untuk memikul gaya tarik $N_{ucharus}$ yang ditentukan dari $N_{uc} \leq \phi \times A_n \times f_y$. Disyaratkan $N_{uc} \geq 0,2 V_u$.

$$\begin{aligned}
 A_n &= \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} \\
 &= \frac{59730,4}{0,75 \times 390} \\
 &= 204,20 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan lentur As diambil yang terbesar dari :

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_f + A_n \\
 &= 428,55 + 204,20 \\
 &= 632,75 \text{ mm}^2 \\
 A_s &= (2/3 A_{vf}) + A_n \\
 &= (2/3 \times 729,31) + 204,20 \\
 &= 690,41 \text{ mm}^2 \\
 A_s &= 690,41 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan 3-D19, $A_s = 850,59 \text{ mm}^2 > 690,41 \text{ mm}^2$ (OK)

d. Perencanaan Tulangan Geser Konsol

Sengkang tertutup atau sengkang ikat yang sejajar dengan As dengan luas total A_h harus disebarakan secara merata dalam batas dua pertiga dari tebal efektif yang bersebelahan dengan As.

Kebutuhan tulangan geser A_h diambil yang terbesar dari :

$$\begin{aligned}
 A_h &= \frac{1}{2} (A_s - A_n) \\
 &= \frac{1}{2} (690,41 - 222,35) \\
 &= 243,10 \text{ mm}^2 \\
 A_h &= \frac{1}{3} A_{vf} \\
 &= \frac{1}{3} \times 729,31 \\
 &= 243,10 \text{ mm}^2 \\
 A_h &= 243,10 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan 3-Ø12, $A_s = 339,29 \text{ mm}^2 > 243,10 \text{ mm}^2$ (OK)

e. Perencanaan Pelat Landas pada Konsol

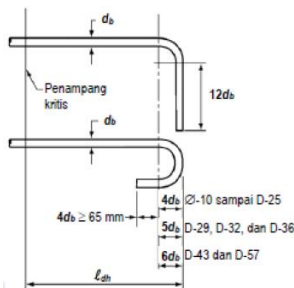
$$V_u = \emptyset \times 0,85 \times f_c' \times A_l$$

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{V_u}{\emptyset \times 0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{298652}{0,75 \times 0,85 \times 35} \\ &= 13384 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai pelat landasan $100 \times 200 \text{ mm} = 20000 \text{ mm}^2$ (tebal 15 mm)

f. Panjang Penyaluran Tulangan Balok Induk

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok.



Gambar 4. 29. Perencanaan Panjang Penyaluran Balok Induk
Sumber: SNI 2847:2013

- Panjang penyaluran tarik (SNI 2847:2013 pasal 21.7.5.1) tidak boleh kurang dari :

$$8db = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm}$$

$$ldh = \frac{f_y \times db}{5,4 \sqrt{f_c'}} = \frac{390 \times 22}{5,4 \sqrt{35}} = 268,57 \text{ mm}$$

Dipasang panjang penyaluran pada tulangan tarik sepanjang 300 mm.

Direncanakan bengkokan minimum pada tulangan tarik dengan tekukan 90° sebesar $12db = 12 \times db = 12 \times 22 = 264 \approx 270 \text{ mm}$.

- Panjang penyaluran tekan (SNI 2847:2013 pasal 12.3.2)

$$l_{dc} = \frac{0,24fy}{\lambda\sqrt{f_c'}} db = \frac{0,24 \times 390}{\lambda\sqrt{35}} \times 22 = 348,07$$

$$l_{dc} = 0,043 \times 390 \times 22 = 368,94 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.3.3 reduksi dalam l_{dc} diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.

$$\text{Reduksi } l_{dc} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} = \frac{1139,24}{1520,53} = 0,75$$

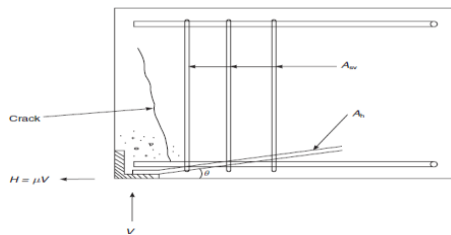
$$l_{dc} = 0,75 \times 368,94 = 276,70 \text{ mm} \approx 270 \text{ mm}$$

Dipasang panjang penyaluran pada tulangan tekan sepanjang 270 mm.

$$\text{Panjang kait} = 12db = 12 \times 22 = 264 \text{ mm} \approx 270 \text{ mm}$$

g. Perencanaan *Reinforced Concrete Bearing*

Perencanaan kebutuhan tulangan ujung balok sebagai berikut:



Gambar 4. 30. Rencana Penulangan dan Bearing Plate pada Balok
Sumber: Buku Precast Concrete Structure, 2002

Lebar bersih bearing setidaknya diambil nilai terkecil dari :

- $b_{\text{balok}} = 400 \text{ mm}$
- $b_{\text{balok}}/2 + 100 = 300 \text{ mm}$ (menentukan)
- 600 mm

$$\text{Panjang bersih bearing} = 150 - 15 - 15 - 30 = 90 \text{ mm}$$

Direncanakan dipasang *bearing plate* berupa plat siku dengan ukuran 100x100.

- Cek kekuatan dari *bearing plate* tersebut :

$$fb < \frac{1,5fc}{1 + \frac{2b_{plate}}{b_{balok}}}$$

$$\frac{Vu}{b_{plate} \times h_{plate}} < \frac{1,5fc}{1 + \frac{2b_{plate}}{b_{balok}}}$$

$$\frac{298652}{100 \times 100} < \frac{1,5 \times 35}{1 + \frac{2 \times 100}{400}}$$

$$29,8 \text{ N/mm}^2 < 35 \text{ N/mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Menentukan ketebalan minimum *bearing plate*

$$H = \mu \times V = 1,4 \times 298652 = 418112,8 \text{ N}$$

$$\mu' = \frac{7 \times b_{balok}}{H} = \frac{7 \times 400}{418112,8} = 4,02$$

$$t_{min} = \frac{V}{pw \times \mu' \times b_{plate}} = \frac{298652}{490 \times 4,02 \times 100} = 1,52 \text{ mm}$$

Maka dipasang *bearing plate* 100x100 mm dengan ketebalan 10mm.

Pada ujung balok dipasang tulangan yang diangkerkan ke dalam balok tersebut untuk mencegah terjadinya keretakan seperti pada gambar di atas.

- Perhitungan kebutuhan tulangan Ah

$$Ah = \frac{V}{0,95 \times fy \times \cos \theta \times \mu'}$$

$$= \frac{298652}{0,95 \times 390 \times \cos 45^\circ \times 4,02}$$

$$= 945,15 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 4D19, $A_s = 1134,12 \text{ mm}^2$

Panjang tulangan Ah dihitung berdasarkan panjang penyaluran sesuai SNI 2847:2013 pasal 12.2.1 sebagai berikut :

$$ld = \left[\frac{fy}{1,1 \lambda \times \sqrt{fcr}} \times \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{D_b}} \right] d_b$$

Dimana,

f_c' = kuat tekan beton

f_y = kuat leleh tulangan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan (1,3)

Ψ_e = faktor pelapis (1,5)

Ψ_s = faktor ukuran tulangan (0,8)

λ = faktor beton agregat ringan (1,0)

db = diameter nominal tulangan

C_b = Yang lebih kecil :

- Jarak pusat tulangan ke permukaan beton terdekat

$$C_b = \text{decking} + \text{senggang} + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur})$$

$$C_b = 50 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm})$$

$$C_b = 69,5 \text{ mm}$$

- Setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan

$$C_b = S_{\text{max}} + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur}) + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur})$$

$$C_b = 25 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm}) + (\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm})$$

$$C_b = 44 \text{ mm}$$

K_{tr} = Indek tulangan tranfersal (0)

$$ld = \left[\frac{390}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1,3 \times 1,5 \times 0,8}{\frac{44+0}{19}} \right] \times 19$$

$$ld = 767,9 \text{ mm} \approx 770 \text{ mm}$$

Syarat :

$$ld > 300 \text{ mm}, 770 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Reduksi dalam ld diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan (SNI 2847:2013 pasal 12.2.5)

$$\text{Reduksi } ld = \left[\frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } ld = \left[\frac{945,15}{1134,12} \right] \times 770$$

$$\text{Reduksi } ld = 641$$

Maka digunakan $ld = 650 \text{ mm}$

- Perhitungan kebutuhan tulangan As_v

$$\begin{aligned}
 A_{sv} &= \frac{H}{0,95 \times f_y \times \mu'} \\
 &= \frac{418112,8}{0,95 \times 390 \times 4,02} \\
 &= 280,72 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

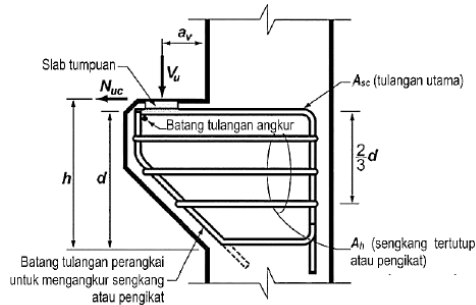
Dari perhitungan geser pada balok sebelumnya telah terpasang sengkang 3Ø12, $A_s = 339,29 \text{ mm}^2$

4.5.5.2. Perencanaan Sambungan Balok Anak – Balok Induk

Pada perencanaan sambungan antara balok anak dan balok induk digunakan konsol pendek. Balok anak diletakkan pada konsol yang terpasang pada balok induk kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11. Konsol tersebut tidak dipasang menerus di seluruh bentang balok induk dikarenakan akan menambah berat sendiri balok induk pracetak. Bentuk konsol pendek yang dipakai sebagai berikut :

a. Data Perencanaan

- V_u balok induk = 106586 N (hasil SAP)
- Dimensi balok anak = 25 x 40 cm
- Dimensi konsol
 - b_w = 200 mm
 - h = 200 mm
 - d = 200-15- $\frac{1}{2}$ 19 = 175,5 mm
- Tebal pelat landas = 15 mm
- Diameter tul. Lentur = 19 mm
- Diameter tul. Geser = 10 mm
- f_c' = 35 Mpa
- f_y = 390 Mpa
- a_v = 100 mm



Gambar 4. 31. Perencanaan Konsol Pendek
Sumber : SNI 2847:2013

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.

- Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi a_v/d tidak boleh lebih besar dari satu.
 $a_v/d = 100 / 175,5 = 0,6 < 1$ (OK)
- N_{uc} tidak lebih besar daripada V_u .
 $N_{uc} \geq 0,2V_u$
 $N_{uc} = 0,2V_u = 0,2 \times 106586 = 21317,2N$
- Tulangan longitudinal utama harus dibuat menerus melintasi sambungan dan harus disalurkan di luar baik sambungan kekuatan dan daerah sendi plastis.

Pada perencanaan konsol pendek hal yang paling diperhatikan adalah kekuatan geser. Gaya geser ultimate pada muka kolom tidak melebihi $0,8\sqrt{f_c}$ atau 5 N/mm^2 (Kim S Elliot, 2002).

$$V_n = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{106586}{400 \times 185} = 1,44 \text{ N/mm}^2$$

$$0,8\sqrt{f_c} = 0,8 \times \sqrt{35} = 4,7 \text{ N/mm}^2$$

$$V_n < 0,8\sqrt{f_c} \text{ (OK)}$$

$$V_n < 5 \text{ N/mm}^2 \text{ (OK)}$$

b. Perencanaan Tulangan Geser Friksi

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.2.1 untuk beton normal V_n tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- $0,2 \times f_c' \times b_w \times d = 0,2 \times 35 \times 200 \times 175,5$
 $= 282555 \text{ N}$
- $(3,3 + 0,08 f_c') \times b_w \times d = (3,3 + 0,08 \times 35) \times 200 \times 175,5$
 $= 214110 \text{ N}$
- $11 \times b_w \times d = 11 \times 200 \times 175,5$
 $= 386100 \text{ N}$

Dari persyaratan tersebut didapatkan nilai yang lebih besar dari gaya geser ultimate $V_n = V_u / \phi = 106586 / 0,75 = 194571 \text{ N}$.

Kebutuhan tulangan friksi :

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} = \frac{194571}{390 \times 1,4} = 356,36 \text{ mm}^2$$

μ adalah koefisien friksi dengan kriteria beton yang dicor di tempat dengan nilai 1,4 (SNI 2847:2013 pasal 11.6.4.3)

c. Perencanaan Tulangan Lentur Konsol

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \rho_b = \frac{0,85 \times 0,80 \times 35}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036 \text{ atau } \rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \sqrt{35}}{390} = 0,0038$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar, yaitu 0,0038.

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

Momen yang bekerja pada konsol adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_u &= V_n \times a_v + N_{uc} \times (h - d) \\ &= 194571 \times 100 + 29185,6 \times (200 - 175,5) \\ &= 15115071,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{b d^2} = \frac{15115071,4}{200 \times 175,5^2} = 2,45$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{13,11} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 2,45}{390}} \right] = 0,0066\end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = 0,0066$$

Tulangan Af dirancang untuk menahan momen ($M_u = V_n \times a_v + N_u \times (h - d)$). Tulangan Af diambil nilai terkecil dari :

$$\begin{aligned}Af_1 &= \frac{M_u}{0,85 \times \phi \times f_y \times d} \\ &= \frac{15115071,4}{0,85 \times 0,75 \times 390 \times 175,5} \\ &= 346,41 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Af_2 &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0066 \times 200 \times 175,5 \\ &= 230,78 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$Af = 230,78 \text{ mm}^2$$

Tulangan An berfungsi untuk memikul gaya tarik *Nucharus* yang ditentukan dari $N_u \leq \phi \times A_n \times f_y$. Disyaratkan $N_u \geq 0,2V_u$.

$$\begin{aligned}An &= \frac{N_u}{\phi \times f_y} \\ &= \frac{29185,6}{0,75 \times 390} \\ &= 72,88 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan lentur As diambil yang terbesar dari :

$$\begin{aligned}As &= Af + An \\ &= 230,78 + 72,88 \\ &= 303,66 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}As &= (2/3 A_{vf}) + An \\ &= (2/3 \times 356,36) + 72,88 \\ &= 310,45 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_s = 310,45 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 2-D19, $A_s = 567,06 \text{ mm}^2 > 310,45 \text{ mm}^2$ (OK)

d. Perencanaan Tulangan Geser Konsol

Sengkang tertutup atau sengkang ikat yang sejajar dengan A_s dengan luas total A_h harus disebarakan secara merata dalam batas dua pertiga dari tebal efektif yang bersebelahan dengan A_s .

Kebutuhan tulangan geser A_h diambil yang terbesar dari :

$$\begin{aligned} A_h &= \frac{1}{2} (A_s - A_n) \\ &= \frac{1}{2} (310,45 - 72,88) \\ &= 118,79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_h &= \frac{1}{3} A_{vf} \\ &= \frac{1}{3} \times 356,36 \\ &= 118,78 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_h = 118,79 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 3-Ø10, $A_s = 235,62 \text{ mm}^2 > 118,79 \text{ mm}^2$ (OK)

e. Perencanaan Pelat Landas pada Konsol

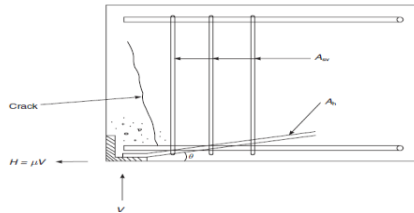
$$V_u = \phi \times 0,85 \times f_c' \times A_l$$

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{V_u}{\phi \times 0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{106586}{0,85 \times 0,75 \times 35} \\ &= 6540,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai pelat landasan $100 \times 100 \text{ mm} = 10000 \text{ mm}^2$ (tebal 15 mm)

f. Perencanaan *Reinforced Concrete Bearing*

Perencanaan kebutuhan tulangan ujung balok sebagai berikut:



Gambar 4. 32. Rencana Penulangan dan Bearing Plate pada Balok
Sumber: Buku Precast Concrete Structure, 2002

Lebar bersih bearing setidaknya diambil nilai terkecil dari :

- $b_{\text{balok}} = 250 \text{ mm}$
- $b_{\text{balok}}/2 + 100 = 225 \text{ mm}$ (menentukan)
- 600 mm

Panjang bersih bearing = $150 - 15 - 15 - 30 = 90 \text{ mm}$

Direncanakan dipasang *bearing plate* berupa plat siku dengan ukuran 100x100.

- Cek kekuatan dari *bearing plate* tersebut :

$$fb < \frac{1,5fc}{1 + \frac{2b_{\text{plate}}}{b_{\text{balok}}}}$$

$$\frac{Vu}{b_{\text{plate}} \times h_{\text{plate}}} < \frac{1,5fc}{1 + \frac{2b_{\text{plate}}}{b_{\text{balok}}}}$$

$$\frac{106586}{100 \times 100} < \frac{1,5 \times 35}{1 + \frac{2 \times 100}{250}}$$

$$10,6 \text{ N/mm}^2 < 29,12 \text{ N/mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Menentukan ketebalan minimum *bearing plate*

$$H = \mu \times V = 1,4 \times 106586 = 149220 \text{ N}$$

$$\mu' = \frac{7 \times b_{\text{balok}} \times h}{H} = \frac{7 \times 250 \times 400}{149220} = 4,69$$

$$t_{\text{min}} = \frac{V}{pw \times \mu' \times b_{\text{plate}}} = \frac{149220}{490 \times 4,69 \times 100} = 0,65 \text{ mm}$$

Maka dipasang *bearing plate* 100x100 mm dengan ketebalan 10mm.

Pada ujung balok dipasang tulangan yang diangkerkan ke dalam balok tersebut untuk mencegah terjadinya keretakan seperti pada gambar di atas.

- Perhitungan kebutuhan tulangan Ah

$$\begin{aligned} Ah &= \frac{V}{0,95 \times fy \times \cos \theta \times \mu'} \\ &= \frac{106586}{0,95 \times 390 \times \cos 45^\circ \times 4,69} = 86,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan 2D10, $A_s = 157 \text{ mm}^2$

Panjang tulangan Ah dihitung berdasarkan panjang penyaluran sesuai SNI 2847:2013 pasal 12.2.1 sebagai berikut :

$$ld = \left[\frac{fy}{1,1\lambda \times \sqrt{fc'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} \right] d_b$$

Dimana,

fc' = kuat tekan beton

fy = kuat leleh tulangan

Ψ_t = faktor lokasi penulangan (1,3)

Ψ_e = faktor pelapis (1,5)

Ψ_s = faktor ukuran tulangan (0,8)

λ = faktor beton agregat ringan (1,0)

d_b = diameter nominal tulangan

C_b = Yang lebih kecil :

- Jarak pusat tulangan ke permukaan beton terdekat

$$C_b = \text{decking} + \text{senggang} + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur})$$

$$C_b = 50 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 10 \text{ mm})$$

$$C_b = 65 \text{ mm}$$

- Setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan

$$C_b = S_{\max} + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur}) + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur})$$

$$C_b = 25 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 10 \text{ mm}) + (\frac{1}{2} \times 10 \text{ mm})$$

$$C_b = 35 \text{ mm}$$

Ktr = Indek tulangan tranfersal (0)

$$ld = \left[\frac{390}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1,3 \times 1,5 \times 0,8}{\frac{35+0}{10}} \right] \times 10$$

$$ld = 267 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran minimum adalah 300 mm sehingga dipasang ld minimum = 300 mm,

- Perhitungan kebutuhan tulangan Asv

$$\begin{aligned} Asv &= \frac{H}{0,95 \times fy \times \mu'} \\ &= \frac{149220}{0,95 \times 390 \times 4,69} \\ &= 85,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan geser pada balok sebelumnya telah terpasang sengkang 2Ø10, As = 158 mm²

4.5.5.3. Perencanaan Sambungan Pelat – Balok

Berdasarkan SNI 7833:2012 pasal 4.6.2.2 (a) setiap komponen struktur dan sistem pendukungnya harus mempunyai dimensi penumpu minimal 50 mm untuk pelat dan 75 mm untuk balok. Berikut perhitungan dimensi penumpu pada balok :

Dimensi balok pracetak = 48 x 60 cm

Dimensi pelat pracetak = 136 x 320 x 8 cm

- Kondisi Pemasangan

Elemen pracetak dipasang pada umur 7 hari,

$$fc' = 35 \text{ Mpa}$$

$$fci = 65\% fc = 46\% \times 35 = 22,75 \text{ Mpa} = 227,5 \text{ kg/cm}^2$$

Beban yang diterima oleh pelat adalah berat sendiri pelat pracetak.

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,08 \times 1,36 \times 3,2 \times 2500 = 870,4 \text{ kg}$$

$$P = 1,2 \times 870,4 = 1044,48 \text{ kg}$$

$$\frac{P}{A} \leq fci$$

$$\frac{1044,48}{136 \times b} \leq 227,5, \text{ maka } b = 0,03 \text{ cm} = 0,3 \text{ mm}$$

- Kondisi Pengecoran

Proses pengecoran dilakukan saat elemen pracetak berumur 7 hari,

$$f_c' = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 65\% f_c = 46\% \times 35 = 22,75 \text{ Mpa} = 227,5 \text{ kg/cm}^2$$

Beban yang diterima oleh pelat adalah berat sendiri pelat pracetak dan berat overtopping.

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,08 \times 1,36 \times 3,2 \times 2500 = 870,4 \text{ kg}$$

$$\text{Berat overtopping} = 0,04 \times 1,36 \times 3,2 \times 2500 = 435,2 \text{ kg}$$

$$P = 1,2 \times (870,4 + 435,2) = 1566,72 \text{ kg}$$

$$\frac{P}{A} \leq f_{ci}$$

$$\frac{1566,72}{136 \times b} \leq 227,5, \text{ maka } b = 0,05 \text{ cm} = 0,5 \text{ mm}$$

- Kondisi Komposit

Beban mati (DL)

Beban mati pelat lantai :

$$\text{Berat sendiri} = 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafon + penggantung} = 7,1 + 7 = 14,1 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (t = 2 cm)} = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Keramik (t = 2 cm)} = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting AC + pipa} = 10 + 5 \text{ kg/m}^2 = \underline{15 \text{ kg/m}^2}$$

$$\text{DL} = 407,1 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup (LL) rumah sakit} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$P = 1,2 \times (407,1 \times 1,36 \times 3,2) + 1,6 \times (250 \times 1,36 \times 3,2)$$

$$= 3866,84 \text{ kg}$$

$$\frac{P}{A} \leq f_c$$

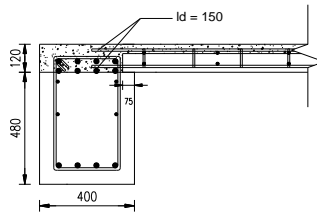
$$\frac{3866,84}{136 \times b} \leq 350, \text{ maka } b = 0,08 \text{ cm} = 0,8 \text{ mm}$$

Maka digunakan dimensi penumpu pada balok sepanjang 75 mm.

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 2847:2013 adalah sebagai berikut :

- $l_{dh} \geq 8d_b = 8 \times 10 = 80 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013 ps. 12.5.1)
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013 ps. 12.5.1)
- $l_{dh} \geq \frac{0,24fy\sqrt{f'c}}{d_b} = 55,37$ (SNI 2847:2013 ps. 12.5.1)

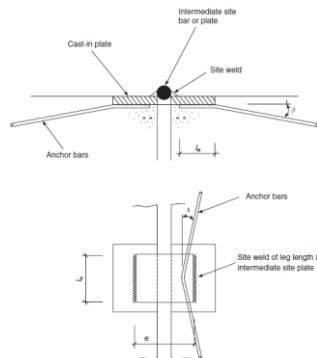
Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 150 mm.



Gambar 4. 33. Sambungan Pelat Balok

4.5.5.4. Perencanaan Sambungan Pelat – Pelat

Sambungan pelat-pelat direncanakan menggunakan sambungan mekanik geser (*mechanical shear device*) seperti pada gambar berikut. Penggunaan sambungan mekanik berupa pelat baja untuk memastikan kekakuan yang tinggi dan mencegah terjadinya geser.



Gambar 4. 34. Perencanaan Sambungan Pelat-Pelat

Sumber : Buku Precast Concrete Structure, 2002

Perhitungan sambungan pelat-pelat dalam Tugas Akhir Terapan ini menggunakan contoh perhitungan pelat P3 (360×720 cm). Momen lapangan Y yang terjadi pada pelat sesudah komposit

$$\begin{aligned} M_L &= 0,001 \times q_u \times Lx^2 \times X, X = 11 \\ &= 0,001 \times 888,5 \times 3,28^2 \times 11 \\ &= 105,1472 \text{ kgm} = 1051472 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Gaya geser yang terjadi pada pelat sesudah komposit :

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} \times q_u \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 888,5 \times 6,8 \\ &= 3020,9 \text{ kg} = 30209 \text{ N} \end{aligned}$$

$$t_{\text{pltprecetak}} = 80 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$Z = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} \times 1000 \times 80^2 = 1066666 \text{ mm}^3$$

Berdasarkan Buku *Precast Concrete Structure* (Kim Elliot, 2002) beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam memenuhi kapasitas geser sambungan tersebut adalah sebagai berikut :

- Tahanan tarik dari pelat yang tertanam
 $V = n \cdot 0,95 A_s \cdot 0,5 f_y \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma$
- Kapasitas las dari tulangan yang tertanam
 $V = n \times p_w \times l_w \times t_w$
- Kapasitas geser dari pelat sambung

$$V = \frac{p_w \times l_w \times w}{1 + \frac{4e}{88}}$$

Dimana,

- V = Kapasitas geser sambungan
- n = Jumlah sambungan pelat
- A_s = Luas tulangan yang diangkerkan
- f_y = mutu baja
- β = sudut tulangan angker
- p_w = kekuatan pelat baja
- l_w = panjang pelat baja
- t_w = tebal las

Direncanakan sambungan pelat-pelat P3 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 t_w (\text{tebal las}) &= 4 \text{ mm} \\
 l_w &= 100 \text{ mm} \\
 \text{diameter tul.} &= 12 \text{ mm} (A_s = 113,09 \text{ mm}^2) \\
 \text{sudut} &= 20^\circ \\
 f_y &= 400 \text{ Mpa} \\
 p_w &= 490 \text{ Mpa} \\
 \text{Ukuran pelat sambung} &= 100 \times 60 \text{ mm} \\
 \text{Ukuran pelat yg ditanam} &= 150 \times 40 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan yang terjadi akibat momen} = \frac{M}{Z} = 0,98 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan yang terjadi akibat geser} = \frac{V}{A} = 5,04 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan total} = \sqrt{0,98^2 + 5,04^2} = 5,13 \text{ Mpa}$$

Kapasitas geser sambungan:

$$\begin{aligned}
 V &= n \cdot 0,95 A_s \cdot 0,5 f_y \cdot \cos \beta \cdot \cos Y \\
 &= 2 \cdot 0,95 \cdot 113 \cdot 0,5 \cdot 390 \cdot \cos 20^\circ \cdot \cos 20^\circ \\
 &= 37916,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= n \times p_w \times l_w \times t_w \\
 &= 2 \times 490 \times 100 \times 4 \\
 &= 392000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{p_w \times l_w \times t_w}{1 + \frac{4e}{88}} \\
 &= \frac{490 \times 100 \times 4}{1 + \frac{4 \cdot 60}{88}} \\
 &= 525850 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Diambil kapasitas geser terkecil $V = 37916,9 \text{ N}$

$$\text{Tegangan} = V / \text{luas pelat} = 37916,9 / (100 \times 60) = 6,32 \text{ Mpa}$$

Tegangan pada sambungan lebih besar dari tegangan pada pelat sehingga perencanaan pelat baja sebagai sambungan tersebut memenuhi.

4.5.5.5. Perencanaan Sambungan Pelat – *Overtopping*

Tujuan utama dari penggunaan topping beton komposit adalah:

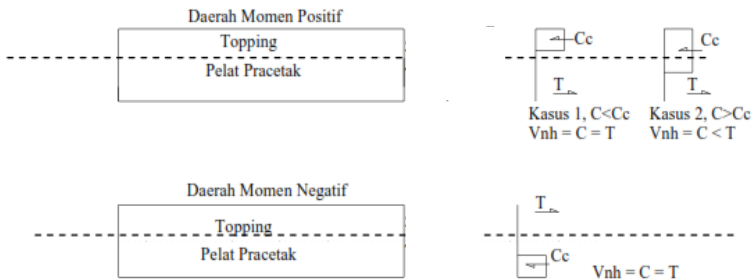
1. Untuk menjamin agar lantai beton pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horizontal yang cukup kaku.
2. Supaya distribusi beban hidup vertikal antar komponen pracetak lebih merata.
3. Meratakan permukaan beton karena adanya perbedaan penurunan.

Dibutuhkan pengikat antar elemen pracetak dan *overtopping* supaya menjadi struktur yang monolit berupa tulangan stud. Fungsi tulangan stud untuk mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horisontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban.

Dalam SNI disebutkan bahwa gaya geser horisontal bisa diperiksa dengan jalan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik didalam sembarang segmen dan dengan menentukan bahwa gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horizontal elemen – elemen pendukung.

Gaya geser horizontal yang terjadi pada penampang komposit ada dua macam kasus :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat
- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat



Perhitungan stud P3

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 \times f'_c \times A_{topping} \\
 &= 0,85 \times 35 \times 40 \times 1000 \\
 &= 1190000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan studdiameter Ø8 mm ($f_y=240$ Mpa).

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,3 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 17.5.3.1. dalam perencanaan sengkang pengikat yang bidang kontakannya bersih, bebas kapur permukaan, dan secara sengaja dikasarkan, maka kuat geser V_{nh} tidak boleh diambil lebih dari $0,55b_v.d$ dalam Newton.

$$\begin{aligned}
 0,55 A_c &= 0,55 \times b_v \times d \\
 &= 0,55 \times 1000 \times 95 \\
 &= 52250 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{nh} &= C = T \\
 &= A_s \times f_y \\
 &= 50,3 \times 240 \\
 &= 12064 \text{ N} < 0,55b_v.d
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 17.6.1 pengikat sengkang dipasang untuk menyalurkan geser horisontal, luas pengikat sengkang tidak boleh kurang luas daripada luas yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

$s_{max} = 4 \times 40 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$, atau $s_{max} = 600 \text{ mm}$. Maka digunakan $s = 150 \text{ mm}$

$$A_{v_{min}} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w \times s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847:2013 ps. 11.4.6.3})$$

$$A_{v_{min}} = 0,062 \sqrt{35} \frac{1000 \times 150}{390} = 141,08 \text{ mm}^2$$

$$A_{v_{min}} \geq \frac{0,35 b_w \times s}{f_y} \quad (\text{SNI 2847:2013 ps. 11.4.6.3})$$

$$Av_{min} \geq \frac{0,35 \times 1000 \times 150}{390} = 134,62 \text{ mm}^2$$

Maka, $Av_{min} = 141,08 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan Ø8 mm-150, $Av = 335,103 \text{ mm}^2 > Av_{min}$.

Jadi dipasang stud (*shear connector*) Ø8-150 mm.

4.6. Output Pondasi

Pada Tugas Akhir Terapan ini tidak menghitung perencanaan pondasi. Berikut ditampilkan gaya-gaya yang terjadi pada joint.

TABLE: Joint Reactions							
Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
1	1D+1L	601.28	-878.6	99224	1577.5	1122.2	12.85
3	1D+1L	1236.6	-1228	150791	2046.9	1958.7	-68.64
5	1D+1L	-800.7	-1210	152403	2000.2	-771.6	65.16
7	1D+1L	-235.7	-864	95481	1519.3	-27.51	-18.48
9	1D+1L	-304.5	-47.74	330947	74.51	-394	-5.62
10	1D+1L	11.58	80.22	355347	-91.62	-25.32	0.0134
11	1D+1L	698.86	-1337	125700	2108	1352.4	162.24
13	1D+1L	748.7	-958.3	165920	1709.9	1412.9	4.38
15	1D+1L	2365.5	-1483	267062	2342.3	3533	14.05
17	1D+1L	-1886	-1492	266239	2330.3	-2263	-4.07
19	1D+1L	-246.5	-951.8	164408	1661.3	-113	6.21
21	1D+1L	-322.5	-1323	119869	2031.4	-215.7	-166
25	1D+1L	25.55	-978.9	150362	1465.3	9.21	-6.24
29	1D+1L	2684.6	-273.1	240312	673.6	4072.9	26
30	1D+1L	-332.5	-268.4	398563	639.15	-131.7	3.69
32	1D+1L	807.88	-324.2	396404	731.27	1438.9	4.48
35	1D+1L	-2323	-253.4	237744	589.44	-2917	-15.07
37	1D+1L	-74.73	39.13	359535	-41.74	-162.5	0.79
38	1D+1L	339.06	-23.55	338915	15.71	341.54	1.65
39	1D+1L	-268	-156.3	190494	364.48	-362.8	-8.28

Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
67	1D+1L	-4.61	433.63	183419	-633.5	-15.05	-54.3
68	1D+1L	-856	73.34	137518	-85.23	-1211	3.02
69	1D+1L	1170.2	204.98	123979	-264.7	1587.3	-8.69
73	1D+1L	599.43	201.32	143864	-315	724.68	-12.81
74	1D+1L	-887.6	79.89	129563	-92.36	-1284	-8.3
75	1D+1L	409.32	119.29	98406	-148.8	478.78	-4.58
79	1D+1L	491.65	176.57	130001	-267.1	568.24	15.71
80	1D+1L	-844.9	267.9	110575	-344.1	-1252	-6.31
81	1D+1L	289.05	109.91	87271	-148.9	317.41	-9.93
85	1D+1L	-459.1	-166.7	176449	-92.25	1219.6	-855.9
86	1D+1L	615.52	-2383	129756	4315	2299.4	-284.3
87	1D+1L	-2635	-737.3	155162	1518.3	-1381	-40.46
91	1D+1L	-1495	470.74	215996	-872.2	-1385	-412.2
92	1D+1L	3234.5	184.44	254471	-437.6	4824.9	-36.26
93	1D+1L	-10254	-6853	195658	7621.7	-10946	15.81
96	1D+1L	-2380	-9.76	208651	-9.71	-3369	2.28
98	1D+1L	-1114	647.01	136154	179.27	-1391	-236.7
103	1D+1L	-184.8	134.06	110518	-192.8	-304.4	26.2
104	1D+1L	-69.64	195.45	97648	-261.3	-157.9	-10.72
107	1D+1L	2811.7	-224.9	246250	587.87	4263.7	11.65
108	1D+1L	-240.1	-242.2	403199	544.71	12.18	2.1
109	1D+1L	730.84	-230.6	403094	560.58	1353	5.42
111	1D+1L	-2436	-205.2	243338	511.67	-3049	-0.041
115	1D+1L	1994.7	638.49	202099	-582.5	3160.9	-70.22
116	1D+1L	-79.72	1602.2	292144	-1983	238.04	-15.12
117	1D+1L	472.78	1340.7	319356	-1586	1016.9	22.06
119	1D+1L	-1568	769.26	180304	-773.7	-1858	59.05
123	1D+1L	1077.2	-348.2	193588	706.88	1874.1	100.33
124	1D+1L	-1379	140.24	202755	-27.4	-1540	56.44
125	1D+1L	1249.8	-995.1	306686	1520.1	2096.4	17.55

Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
133	1D+1L	-300.7	-53.78	153993	223.42	-181.1	-5.55
135	1D+1L	-326.8	-230.7	109893	580.26	-188.6	4.26
136	1D+1L	236.13	-219.3	126671	574.37	550.68	1.03
139	1D+1L	1067.7	28.57	197315	218.32	1877.6	-73.53
140	1D+1L	1082.3	806.83	307835	-877	1896.9	0.0577
141	1D+1L	197.5	-98.73	117861	433.56	581.15	13.57
145	1D+1L	-1249	-248.4	195314	460.37	-1312	-81.41
147	1D+1L	-182.5	-396.2	113228	815.55	65.17	-1.34
149	1D+1L	-1723	25.14	326283	-49.49	-1939	-31.3
150	1D+1L	1941.1	-44.99	315803	134.02	2945.8	-34.04
151	1D+1L	-1364	-182.8	316856	475.88	-1488	-27.52
152	1D+1L	2306.8	-259.3	325055	649.69	3404.7	-31.26
153	1D+1L	-2790	-365.6	253200	940.89	-3541	-36.68
154	1D+1L	97.09	656.43	333412	-1186	744.99	-22.82
155	1D+1L	429.94	700	352220	-1163	1145	-17.24
156	1D+1L	2569.6	343.81	209977	-852.3	4124.3	-26.81
157	1D+1L	506.36	307.26	356779	-559.3	1219.8	-12.25
158	1D+1L	362.53	121.36	357119	-224.9	1010.2	-12.31
159	1D+1L	328.64	204.57	356504	-289.8	952.11	1.78
161	1D+1L	-399.2	-1715	253318	2362.2	-537.2	-12.18
162	1D+1L	6.73	-2190	267169	2993.3	-33.75	-0.9
163	1D+1L	5.83	-2135	276780	2925.2	-44.49	7.36
164	1D+1L	527.13	-103.6	333225	169.6	599.99	-3.79
165	1D+1L	3353.6	213.6	252694	-449	5162.8	-23.99
166	1D+1L	-2406	57.77	208953	-59.93	-3404	-5.7
168	1D+1L	1442.1	-644.5	168682	1237.3	2656	-113.3
174	1D+1L	-739.7	-925	129954	1826.4	-286.9	29.74
175	1D+1L	118.03	-213.6	192788	613.62	930.46	-8.4
176	1D+1L	-92.93	-283.1	229883	626.24	773.02	-161.5

Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
181	1D+1L	2159.1	-1027	205513	1598.4	3453.7	102.48
182	1D+1L	279.67	-1661	312816	2405.4	810.26	3.31
184	1D+1L	-10445	5450.1	219121	-5601	-11198	83.19
185	1D+1L	-784.6	-529	136992	1024	-704.3	308.31
189	1D+1L	-3673	-294	212907	803.71	-3750	-743.9
190	1D+1L	-2092	-294.2	231541	354.81	-1344	166.57
193	1D+1L	3260	-46.07	256890	256.91	5049.4	24.71
194	1D+1L	297.14	283.5	399880	-233.5	958.19	16.2
195	1D+1L	-1825	-1176	215121	1786.7	-1967	-139.6
199	1D+1L	-26.31	-1115	325363	1588.2	534.89	-1.76
201	1D+1L	3184	46.58	249054	81.92	4994.5	0.21
202	1D+1L	347.8	-0.039	397075	88.74	1071.9	1.66
203	1D+1L	-2858	124.65	261891	-80.13	-3421	8.26
207	1D+1L	830.51	-60.52	400130	129.83	1659.7	7.9
209	1D+1L	830.4	809.64	141041	-976.7	1767.2	-113
210	1D+1L	1770.9	1499.5	225523	-1953	2999.7	31.73
211	1D+1L	-140	1415.4	122887	-1840	304.23	196.87
215	1D+1L	-754.5	1573	226005	-2105	-471	-4.02
217	1D+1L	685.18	1545.2	153926	-2135	1568.6	24.74
219	1D+1L	73.8	1437.2	156621	-2035	592.73	-4.12
221	1D+1L	546.35	446.12	84906	-505.4	1347.4	2.71
222	1D+1L	539.75	868.96	111556	-1102	1345.1	20.68
226	1D+1L	595.01	878.62	110818	-1175	1444.5	47.12
227	1D+1L	540.4	235.34	80981	-245.8	1354.5	15.56
229	1D+1L	85.86	630.39	82842	-975.2	794.49	81.05
231	1D+1L	478.9	306.02	87985	-397.3	1281.8	12.6
233	1D+1L	-1399	422.13	222465	-700.7	-1490	-5.41
237	1D+1L	-1072	1417	172537	-2015	-1030	73.74
238	1D+1L	365.22	2163.8	275126	-3017	966.88	-6.88
241	1D+1L	-491.1	872.73	104486	-1303	-184.5	-72.2
242	1D+1L	355.84	1186.1	164224	-1740	948.3	5.85
245	1D+1L	2099.5	-24.58	317161	147.73	3325.7	-33.63

4.7. Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan merupakan hal yang penting dalam setiap perencanaan konstruksi. Karena dengan merencanakan metode pelaksanaan dengan benar akan memudahkan merealisasikan konstruksi yang sudah didesain.

4.7.1. Produksi Elemen Pracetak

Hal-hal yang perlu diperhatikan selama proses produksi :

- Pabrik memiliki standar khusus dalam memproduksi ukuran beton pracetak. Sehingga perencana perlu memperhatikan *preliminary desain* dengan ukuran beton pracetak di pasaran.
- Lokasi produksi memiliki lahan yang cukup luas untuk proses penyimpanan dan lingkungan yang bersih dari material non-struktur.

Proses produksi elemen pracetak dibagi menjadi tiga tahapan berurutan yaitu tahap desain, tahap produksi, dan tahap pasca produksi.

- Tahap Desain

Dalam mendesain beton pracetak, dimensi elemen pracetak direncanakan sesuai dengan yang ada pada pasaran. Begitu juga dengan mutu beton. Mutu beton yang direncanakan untuk beton pracetak juga harus disesuaikan dengan kebutuhan umur hari beton saat pengangkatan, transportasi, dan pemasangan.

- Tahap Produksi

Beberapa item pekerjaan yang harus dimonitor pada tahap produksi adalah kelengkapan dari perintah kerja dan gambar produk, mutu dari bahan baku, mutu dari cetakan, mutu atau kekuatan beton, penempatan dan pemadatan beton, ukuran produk, posisi pemasangan, perawatan beton, pemindahan, penyimpanan dan transportasi produk.



1. Pembuatan Cetakan

Cetakan berfungsi untuk membentuk beton dengan spesifikasi yang sesuai perencanaan. Cetakan beton terbuat dari papan kayu atau fiber glass. Penentuan ukuran dari cetakan harus benar-benar diperhatikan karena akan mempengaruhi hasil jadi beton pracetak. Cetakan beton tersebut dapat dipakai berulang sebanyak 50 kali.

2. Pemasangan Tulangan

Pada tahap desain sudah direncanakan kebutuhan tulangan untuk setiap elemen pracetak. Pemasangan tulangan disesuaikan dengan gambar desain sesuai tahap desain sebelumnya.

3. Pengecoran

Pembuatan adukan beton dilakukan dengan mencampurkan bahan pengisi dan bahan pengikat menjadi satu. Bahan-bahan yang dimaksud antara lain pasir, kerikil, semen, dan air dengan perbandingan komposisi sesuai kualitas yang diharapkan. Adukan beton yang sudah terbentuk kemudian dituangkan ke dalam cetakan. Pastikan adukan ini disebarakan secara merata dan memenuhi setiap bagian cetakan.

4. Pengeringan Beton

Adukan beton sebaiknya dikeringkan secara alami. Penjemuran adukan beton di bawah terik sinar matahari langsung justru dapat mengakibatkan beton mengalami keretakan sehingga tak layak pakai. Selama proses pengeringan berlangsung, beton juga perlu disiram dengan air secara berkala untuk menghindari

beton mengering secara mendadak. Perawatan terhadap beton dilakukan sampai berumur 7 hari.

- Tahap Pascaproduksi

Tahap pascaproduksi terdiri dari tahap penyimpanan (*storage*), penumpukan (*stacking*), dan pengiriman (*transport*).

1. Penyimpanan (*storage*)

Setelah pengecoran selesai, beton pracetak masih disimpan di pabrik. Setiap elemen pracetak diberi kode As sebagai posisi elemen pracetak tersebut akan terpasang. Kemudian beton pracetak dibawa ke area proyek pada umur beton 3 hari. Di area proyek sudah disiapkan lokasi penyimpanan yang dekat dengan tower crane untuk mempermudah pemasangan elemen pracetak tersebut.

2. Penumpukan (*stacking*)

Dalam penumpukan antar elemen pracetak diberi kayu penyangga ukuran 5x10 cm. Berdasarkan tahap desain sebelumnya, untuk pelat ditumpuk maksimal 7 tumpukan dan balok maksimal 5 tumpukan.

3. Pengiriman (*transport*)

Dalam proses pengiriman menuju ke *storage area* direncanakan menggunakan alat transportasi flatbed truck dengan ukuran dan kapasitas maksimum ton. Di Indonesia kapasitas maksimum yang diizinkan adalah 30 ton. Direncanakan berat total beton pracetak yang diangkut oleh truck tidak melebihi kapasitas izin tersebut.

4.7.2. Penempatan Tower Crane

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan dan penempatan tower crane adalah :

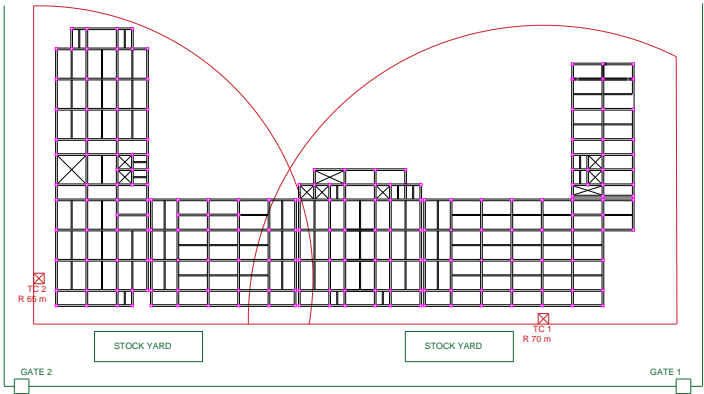
- Kapasitas angkat tower crane maksimum mampu mengangkat beban elemen pracetak
- Penempatan tower crane terjangkau keseleruhan lahan proyek

Direncanakan menggunakan tower crane *Bigge tower crane* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4. 23. Spesifikasi Tower Crane

Tipe	Radius	Berat Maks
	m	ton
TC 1	65	7
TC 2	70	5.5

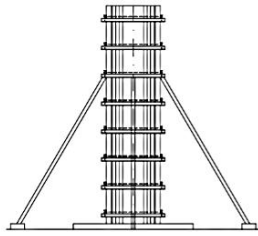
Elemen pracetak yang paling besar dalam perencanaan ini adalah balok induk 2, $W = 0,4 \times 0,48 \times 7,2 \times 2400 \times 10^{-3} = 1,728 \text{ ton} < 5,5 \text{ ton}$.



Gambar 4. 35. Denah Penempatan Tower Crane

4.7.3. Pekerjaan Kolom

Setelah dilakukan pemancangan, pembuatan pile cap dan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian pile cap. Tulangan kolom bersamaan dengan tulangan konsol yang telah disiapkan kemudian dicor sampai batas yang sudah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.



Gambar 4. 36. Pekerajan Kolom

1. Penentuan As kolom

Titik-titik dari as kolom diperoleh dari hasil pengukuran dan pematokan. Hal ini disesuaikan dengan gambar yang telah direncanakan. Cara menentukan as kolom membutuhkan alat-alat seperti: theodolit, meteran, tinta, sipatan dll.

2. Pembesian Kolom

Tulangan utama dipasang terlebih dahulu sebelum tulangan sengkang. Kemudian tulangan utama ditandai sebagai posisi tulangan sengkang. Untuk pemasangan tulangan kolom lantai berikutnya dilakukan setelah elemen balok pracetak dan tulangan atas balok terpasang. Karena tulangan balok didesain dengan panjang penyaluran dan tekukan pada kolom.

3. Pemasangan Bekisting Kolom

Untuk memperoleh permukaan yang halus biasanya pada permukaan bekisting diolesi dengan oli. Bentuk dan dimensi bekisting kolom disesuaikan dengan perencanaan yaitu 650x650 mm. Dilakukan pengecekan vertikal pada bekisting supaya kolom benar-benar tegak lurus.

4. Pengecoran Kolom

Beton yang akan dituangkan pada bekisting kolom dilakukan cek slump. Saat pengecoran pastikan tinggi jatuh material beton ke dalam bekisting tidak lebih dari satu meter. Penuangan beton dilakukan bertahap untuk menghindari pemisahan agregat yang dapat mengurangi mutu beton. Kemudian dilakukan pemadatan supaya tidak ada rongga-rongga udara pada kolom tersebut.

5. Pembongkaran Bekisting Kolom

Pembongkaran bekisting kolom bisa dilakukan setelah beton berumur 8 jam.

6. Perawatan Beton Kolom

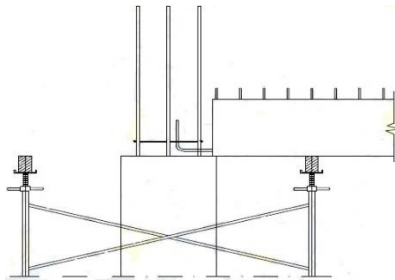
Untuk menjaga agar mutu beton tetap sesuai rencana maka dilakukan perawatan beton dengan cara menyiram atau membasahi beton dua kali sehari selama seminggu.

4.7.4. Pemasangan Elemen Pracetak

Elemen pracetak dipasang pada posisi sebenarnya saat umur beton pracetak 7 hari. Proses pemasangan elemen pracetak menggunakan alat bantu tower crane. Tower crane yang digunakan mampu menjangkau keseluruhan area proyek dan mampu menahan elemen pracetak sampai di ujung bentang tower crane tersebut.

• Pemasangan Balok Induk

Balok induk yang akan disatukan ke kolom disangga dengan perancah. Balok diletakkan di posisi yang sejajar dengan kolom dan ditumpu oleh konsol sehingga panjang lewat dapat masuk dan dicor bersamaan dengan pengecoran kolom ke atas. Selanjutnya dipasang tulangan atas balok induk sesuai kebutuhan. Setelah tulangan atas balok terpasang, selanjutnya dipasang tulangan kolom pada lantai di atasnya.



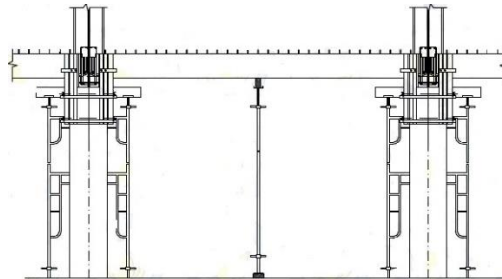
Gambar 4. 37. Pemasangan Balok Induk

1. Tulangan angkat sudah disediakan pada elemen pracetak balok. Terdapat dua titik angkat pada balok yang kemudian diangkat dengan bantuan tower crane.

2. Balok dipasang pada As sesuai gambar desain. Setiap elemen pracetak sudah diberi nama kode As sesuai posisinya.
3. Balok diletakkan diatas konsol pada kolom.
4. Balok disangga dengan scaffolding di kedua ujungnya.
5. Dilakukan pengelasan pada pelat sambungan antar balok dan kolom setebal 4 mm.

- **Pemasangan Balok Anak**

Pemasangan balok anak pracetak diletakkan pada konsol yang terbuat dari beton pracetak dengan balok induk. Selanjutnya dipasang tulangan atas balok anak sesuai kebutuhan. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada balok induk maupun balok anak, maka dipasang perancah. Perancah dipasang dengan posisi dua di tepi dan satu atau dua perancah di sepanjang balok anak sesuai dengan kebutuhan.

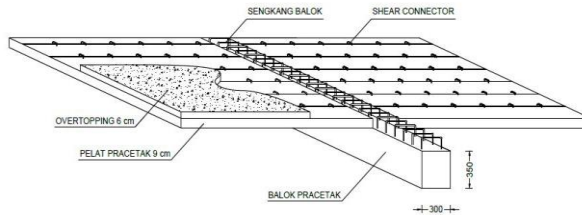


Gambar 4. 38. Pemasangan Balok Anak

1. Tulangan angkat sudah disediakan pada elemen pracetak balok. Terdapat dua titik angkat pada balok yang kemudian diangkat dengan bantuan tower crane.
2. Balok dipasang pada As sesuai gambar desain. Setiap elemen pracetak sudah diberi nama kode As sesuai posisinya.
3. Balok diletakkan diatas konsol pada balok induk.
4. Balok disangga dengan scaffolding di kedua ujungnya dan tengah bentang.
5. Dilakukan pengelasan pada pelat sambungan antar balok anak dan balok induk setebal 4 mm.

• Pemasangan Pelat

Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi dan panjang penyaluran yang direncanakan. Kemudian dipasang tulangan bagian atas pelat.



Gambar 4. 39. Pemasangan Pelat

1. Tulangan angkat sudah disediakan pada elemen pracetak pelat. Terdapat empat titik angkat pada balok yang kemudian diangkat dengan bantuan tower crane.
2. Pelat dipasang pada As sesuai gambar desain. Setiap elemen pracetak sudah diberi nama kode As sesuai posisinya.
3. Tulangan panjang penyaluran pada pelat ditempatkan diatas balok pracetak.
4. Pelat disangga dengan scaffolding di kedua ujungnya dan tengah bentang.

• Pemasangan Tangga

Pengangkatan tangga dilakukan dengan posisi datar. Pada pelat tangga tulangan diberi panjang penyaluran dan didudukkan pada balok bordes. Perencanaan ini dilakukan sama seperti pemasangan pelat pada balok.

4.7.5. Sambungan

Setelah elemen pracetak terpasang, permukaan setiap elemen pracetak dikasarkan supaya monolit dengan overtopping. Sambungan yang digunakan menggunakan sambungan kering dan basah.

Sambungan kering dilakukan dengan menggunakan tulangan dengan panjang penyaluran, pelat baja, dan angkur. Untuk

sambungan pelat–pelat menggunakan pelat baja yang ditanam dan disambung diatas pelat pracetak. Untuk pelat dua arah dipasang pelat siku baja dibagian bawah pelat pracetak untuk menahan gaya tarik di lapangan pelat. Sedangkan untuk pelat satu arah tidak memerlukan tambahan pelat siku baja di bagian bawah pelat pracetak.

Pada sambungan pelat–balok, panjang penyaluran tulangan pelat didudukkan di atas balok pracetak. Untuk memudahkan pemasangan panjang penyaluran balok ke kolom, maka tulangan kolom dipasang setelah elemen pracetak terpasang dan panjang penyaluran balok telah dibengkokkan.

Pada sambungan balok induk dan balok anak tidak ada tulangan balok anak yang diteruskan ke balok induk. Digunakan tulangan yang diangkerkan di bagian konsol ke dalam balok anak.

Sambungan basah dilakukan dengan mengecor *overtopping* balok induk dan balok anak setinggi 12 cm serta pelat setinggi 4 cm. Mengingat ketebalan *overtopping* pelat hanya 4 cm, maka perlu diperhatikan diameter kerikil yang digunakan dalam campuran beton *overtopping*. Digunakan kerikil dengan diameter terbesar 10 mm. Pengecoran dilakukan bersamaan pada *overtopping* pelat dan balok. Beton *overtopping* juga berfungsi merekatkan komponen pelat, balok anak, dan balok induk agar menjadi satu kesatuan (monolit). Hal ini juga diperkuat dengan adanya tulangan panjang penyaluran pada masing-masing komponen pracetak.

Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan “Desain Struktur Rumah Sakit Universitas Airlangga Surabaya dengan Metode Beton Pracetak” maka dapat ditarik beberapa poin kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisa Struktur

• Partisipasi Massa

Partisipasi massa arah X 91,3% pada moda ke 19 dan partisipasi massa arah Y 91,4% pada moda ke 20. Analisis struktur yang sudah dilakukan memenuhi syarat partisipasi massa ragam paling sedikit 90%.

• Periode

Periode terbesar yang didapat dari analisis SAP = 1,43 detik. Periode memenuhi batas atas 1,56 detik dan batas bawah 1,10 detik.

• Gaya Geser

- Untuk gaya gempa arah X
 $V_{Dinamik} > 85\% V_{statik}$
 3163337 N > 2985658 N (OK)
- Untuk gaya gempa arah Y
 $V_{Dinamik} > 85\% V_{statik}$
 3020969 N > 298567 N (OK)

• Dilatasi

Pemisahan Gedung	$\delta_{max 1}$	$\delta_{max 2}$	δ_{MT}	dilatasi	Ket
	mm	mm	mm	mm	
A - B	38.16	45.47	217.65	250	OK
B - C	45.47	45.12	234.88	250	OK

C - D	45.12	50.31	247.78	250	OK
D - E	43.21	32.30	197.81	250	OK

2. Hasil Perhitungan

a. Pelat

Tebal pelat pracetak = 8 cm

Tebal pelat *overtopping* = 4 cm

Tabel 5. 1. Penulangan Pelat

Tipe Pelat	Dimensi			Lx	Ly	Tulangan X		Tulangan Y	
	(cm)			(cm)	(cm)	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
P1	180	×	480	148	440	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 200	D10 - 200
P2	180	×	480	155	440	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 200	D10 - 200
P3	360	×	720	328	680	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 200	D10 - 200
P4	360	×	720	320	680	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 200	D10 - 200
P5	180	×	360	148	320	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 200	D10 - 200
P6	315	×	720	283	680	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 200	D10 - 200
P7	360	×	630	320	590	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 200	D10 - 200
P8	270	×	720	230	680	D10 - 100	D10 - 100	D10 - 200	D10 - 200

b. Tangga

Tebal pelat = 12 cm

Tulangan pelat tangga

Arah X = Ø10-100

Arah Y = Ø10-150

Tulangan pelat bordes

Arah X = Ø10-100

Arah Y = Ø10-200

c. Balok lift

Dimensi sebelum komposit = 40 × 48 cm

Dimensi sesudah komposit = 40 × 60 cm

Tulangan lentur = 2 D22

Tulangan geser = $\emptyset 12$ - 250

d. Balok Anak

Dimensi sebelum komposit = 25×28 cm

Dimensi sesudah komposit = 25×40 cm

Tabel 5. 2. Kebutuhan Tulangan Lentur Balok Anak

Tipe Balok	Bentang	Tumpuan Kiri		Lapangan		Tumpuan Kanan	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
BA 1	4,8	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16
BA 2	7,2	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16
BA 3	3,6	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16

Tabel 5. 3. Kebutuhan Tulangan Balok Anak

Tipe Balok	Bentang	Tulangan Geser	Kebutuhan Pengangkatan	Tulangan Angkat
BA 1	4,8	2 $\emptyset 10$ - 150	2 D10	$\emptyset 10$
BA 2	7,2	2 $\emptyset 10$ - 150	2 D13	$\emptyset 10$
BA 3	3,6	2 $\emptyset 10$ - 150	2 D10	$\emptyset 10$

e. Balok Induk

Dimensi sebelum komposit = 40×48 cm

Dimensi sesudah komposit = 40×60 cm

Tabel 5. 4. Kebutuhan Tulangan Lentur Balok Induk

Tipe Balok	Bentang	Tumpuan Kiri		Lapangan		Tumpuan Kanan	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
BI 1	3,6	8 D22	4 D22	2 D22	4 D22	8 D22	4 D22
BI 2	7,2	8 D22	4 D22	2 D22	4 D22	8 D22	4 D22
BI 3	4,8	7 D22	4 D22	2 D22	4 D22	7 D22	4 D22
BI 4	3,3	7 D22	4 D22	2 D22	3 D22	7 D22	4 D22
BI 5	6,3	7 D22	4 D22	2 D22	3 D22	7 D22	4 D22

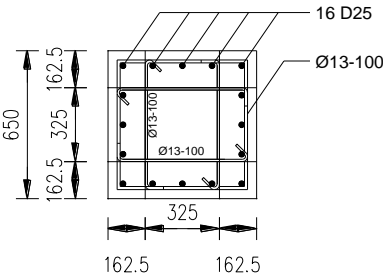
Tabel 5. 5.Kebutuhan Tulangan Balok Induk

Tipe Balok	Bentang	Tulangan Geser		Torsi	Kebutuhan Pengangkatan	Tul. Angkat
		Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis			
BI 1	3,6	2 Ø12 - 100	2 Ø12 - 150	2 Ø10	2 D10	Ø10
BI 2	7,2	2 Ø12 - 100	2 Ø12 - 150	2 Ø13	2 D13	Ø12
BI 3	4,8	2 Ø12 - 100	2 Ø12 - 200	2 Ø10	2 D10	Ø10
BI 4	3,3	2 Ø12 - 100	2 Ø12 - 2000	2 Ø10	2 D10	Ø10
BI 5	6,3	2 Ø12 - 100	2 Ø12 - 150	2 Ø10	2 D10	Ø10

f. Kolom

Tulangan lentur = 15 D25

Tulangan confinement = 4 Ø13-100

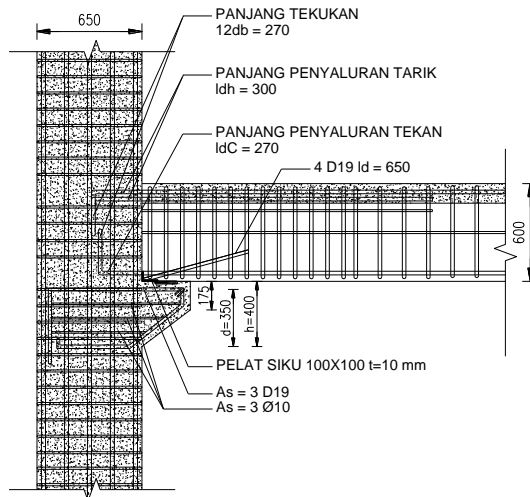


Gambar 5. 1. Penampang Kolom

3. Sambungan

a. Sambungan Balok Induk – Kolom

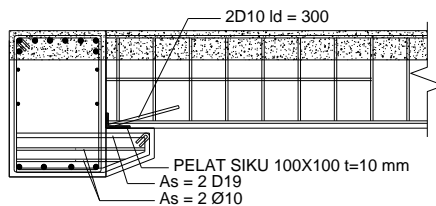
Menggunakan konsol pendek pada kolom 300 × 400 mm dan tulangan 4D19 yang diangkerkan pada balok induk.



Gambar 5. 2. Sambungan Balok - Kolom

b. Sambungan Balok Anak – Balok Induk

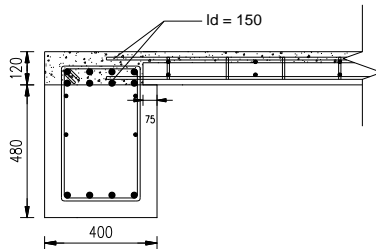
Menggunakan konsol pendek pada balok induk 200×300 mm dan tulangan 2D10 yang diangkerkan pada balok anak.



Gambar 5. 3. Sambungan Balok Anak – Balok Induk

c. Sambungan Pelat – Balok

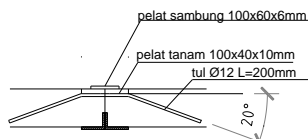
Pelat diberi panjang penyaluran tulangan yang kemudian didudukkan diatas balok.



Gambar 5. 4. Sambungan Pelat - Balok

d. Sambungan Pelat – Pelat

Pelat diberi pelat baja sambung ukuran $100 \times 60 \times 6$ mm dan pelat baja yang ditanam $150 \times 40 \times 10$ mm.



Gambar 5. 5. Detail Sambungan Pelat- Pelat

e. Sambungan Pelat – *Overtopping*

Adanya tulangan stud pada pelat untuk memastikan kemonolitan antara beton pracetak dan beton *overtopping*.

4. Metode Pelaksanaan

Berikut kesimpulan dari metode pelaksanaan yang direncanakan :

- Produksi beton pracetak terdiri dari tiga tahap yaitu tahap desain, tahap produksi, dan tahap pascaproduksi.
- Elemen pracetak dibawa ke lokasi proyek saat umur beton 3 hari.
- Pengecoran kolom dilakukan secara *in situ*. Pengecoran dilakukan per lantai setinggi konsol pada kolom. Setelah umur beton 7 hari, dipasang elemen pracetak.

- Pemasangan elemen pracetak (pelat, balok, dan tangga) dengan bantuan tower crane saat umur beton pracetak 7 hari.
- Sambungan antara balok dengan kolom dan balok induk dengan balok anak menggunakan konsol pendek. Sambungan pelat dengan pelat menggunakan pelat baja yang ditanam pada pelat pracetak dan disambung diantara pelat pracetak dan overtopping.
- Setelah elemen pracetak terpasang, dilakukan pemasangan tulangan atas pada pelat dan balok.
- Pengecoran overtopping dilakukan saat umur beton antara 7-14 hari.

5.2.Saran

Berdasarkan analisa selama proses penyusunan Tugas Akhir Terapan ini, beberapa saran yang dapat penulis sampaikan antara lain :

1. Pekerjaan sambungan adalah pekerjaan paling krusial dalam perencanaan beton pracetak. Sehingga perlu pengawasan dengan baik supaya pekerjaan di lapangan sama dengan perencanaan yang dilakukan.
2. Inovasi berikutnya yang bisa dicoba adalah dengan menerapkan beton pracetak pada kolom, balok, dan pelat secara utuh dengan memperhatikan detail-detail sambungan.
3. Masih perlu pengembangan teknologi agar penggunaan pracetak lebih efisien dalam penggunaannya dan lebih mudah dalam pengaplikasiannya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung* (SNI 1726:2012).
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung* (SNI 7833:2012).
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain* (SNI 1727:2013).
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan* (SNI 2847:2013).
- Menteri Pekerjaan Umum. 2006. *Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung*.
- Elliot, Kim S.. 2002. *Precast Concrete Structures*.
- Ervianto, Wulfram I. 2006. *Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi Beton Cetak dan Bekisting*. Yogyakarta : Andi Yogyakarta.
- New Zealand Concrete Society and the New Zealand Society for Earthquake Engineering. 1999. *Structural Precast Concrete in Buildings*.
- PCI. 2010. *PCI Design Handbook Edition 7th Precast and Prestress Concrete*.
- Purwono, Rachmat. 2010. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya. ITS Press.